調査資料－168

平成 20 年度科学技術振興調整費調査研究報告書

第 3 期科学技術基本計画のフォローアップに係る調査研究

第 4 期基本計画で重視すべき新たな科学技術に関する検討

報 告 書

2009 年 3 月

文部科学省　科学技術政策研究所

Emerging fields in Science and Technology
for the 4th Science and Technology Basic Plan

National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)
JAPAN

本報告書は、科学技術振興調整費による業務として、科学技術政策研究所が実施した第3期科学技術基本計画のフォローアップに係る調査研究『第4期基本計画で新たに重視すべき科学技術に関する検討』(平成20年度)の成果を取りまとめたものです。

本報告書の複製、転載、引用等には科学技術政策研究所の承認手続きが必要です。

目 次

概要 i

第1章 調査の概要 1

第1節 目的 1

第2節 方法 1

第2章 重要領域の設定 7

第1節 安心分科会 7

第2節 安全分科会 12

第3節 協調分科会 15

第4節 競争分科会 20

第3章 科学技術課題の設定 23

第1節 No.1 分科会:ユビキタス社会に、電子・通信・ナノテクノロジーを生かす 23

第2節 No.2 分科会:情報処理技術をメディアやコンテンツまで拡大して議論 40

第3節 No.3 分科会:バイオとナノテクノロジーを人類貢献へ繋げる 58

第4節 No.4 分科会:ITなどを駆使して医療技術を国民の健康な生活へ繋げる 68

第5節 No.5 分科会:宇宙・地球・生命のダイナミズムを理解し、人類の活動領域を拡大する科学技術 76

第6節 No.6 分科会:多彩なエネルギー技術変革を起こす 85

第7節 No.7 分科会:水・食料・鉱物などあらゆる種類の必要資源を扱う 101

第8節 No.8 分科会:環境を保全し持続可能な循環型社会を形成する技術 110

第9節 No.9 分科会:物質、材料、ナノシステム、加工、計測などの基盤技術 122

第10節 No.10 分科会:産業・社会の発展と科学技術全般を総合的に支える製造技術 135

第11節　No.11 分科会：科学技術の進歩によりマネジメント強化すべき対象全般 147

第12節　No.12 分科会：生活基盤・産業基盤を支えるインフラ技術群 157

第4章　重要領域と科学技術課題の関連付け 167

第1節　全体的なマッチングの傾向 167

第2節　マッチングの詳細分析 170

＜参考＞　重要領域別対応科学技術課題一覧 179

第5章　おわりに 200

概要

1. 本調査は、将来の社会で必要とされる重要科学技術を明らかにすることにより、次期科学技術基本計画の検討を下支えする情報を得ることを目的として、実施された。

2. 2010 年から 2040 年までの 30 年間を展望し、社会の視点と研究開発の視点の双方から科学技術発展の方向性について検討を行った。

3. 社会の視点からの検討のため、安心・安全・国際協調・国際競争を主題とする 4 分科会を設けた。分科会は科学技術の寄与が期待される事項を検討し、将来社会を考える上で重要となる領域を科学技術のミッションとして抽出した。

分科会	重要領域
安　心	ディペンダブルな公共システムの構築
	システムの分かる化
	質の高い健康の確保
	高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現
	持続可能な生活の実現
	恒久平和の実現
安　全	安全に関するデータ・知識の連携・統合・提供
	社会安全全体のシステムの構築
	個人個人の安全性確保
	安全の責任の分配（個人によるもの、国によるもの）
	安全文化・安全教育
	人工物（情報システム等も含む）の安全性確保
	人の安全性
	環境、災害からの安全性
協　調	未発見・未利用資源エネルギーの探査・開発・確保
	地球規模の人間活動のウォッチングと制御
	人類の生涯にわたる健康の実現
	日本発の科学技術の産業化
	教育機能の展開と活用
	国際的課題を解決するための方法論の開拓
競　争	国際社会に通用するインテリジェンスとタフネス
	認識の共有
	日本的センスに基づく方法論の提示
	将来需要発掘のための贈与型技術移転

4. 研究開発の視点からの検討のため、分野融合的な議論を行う 12 分科会を設けた。分科会は、以下に示す視点及び検討範囲を設定し、次いで、その中で将来に向けて重要と考えられる科学技術課題 837 課題を抽出した。

分科会	視点及び検討範囲
No. 1	ユビキタス社会に、電子・通信・ナノテクノロジーを生かす ①コンピューティング、システム系； ②通信； ③I／O（家電を含む）； ④エネルギー； ⑤デバイス； ⑥メカトロニクス
No. 2	情報処理技術をメディアやコンテンツまで拡大して議論 ①クラウドコンピューティング； ②情報通信新原理； ③空間共有通信； ④情報の社会化； ⑤多文化交流； ⑥知能支援； ⑦運動支援； ⑧情報の適切性の確保； ⑨ユビキタスネットワーキング； ⑩超大規模ソフトウェア； ⑪コンテンツサービス； ⑫その他境界・融合・新興領域
No. 3	バイオとナノテクノロジーを人類貢献へ繋げる ①バイオ・ナノテクノロジー基礎技術； ②バイオ・ナノテクノロジー応用技術； ③バイオ・ナノテクノロジー医療技術； ④予防医療・診断； ⑤治療； ⑥再生医療； ⑥農林水産関連バイオ産業技術； ⑧エネルギー・環境関連バイオ・ナノ産業技術
No. 4	IT などを駆使して医療技術を国民の健康な生活へ繋げる ①安心・安全を目指す医療； ②新しい医療技術の創造； ③予知・予防医療への展開； ④医療の新しいレギュラトリサイエンスに向けて； ⑤医療の社会システムエンジニアリングへの展開
No. 5	宇宙・地球・生命のダイナミズムを理解し、人類の活動領域を拡大する科学技術 ①地球診断技術； ②宇宙・海洋管理技術； ③未来の科学技術を先導するフロンティア領域； ④生物・生命（起源）； ⑤宇宙素粒子（宇宙科学を含む）； ⑥人工構造物； ⑦宇宙技術（宇宙医学を含む）
No. 6	多彩なエネルギー技術変革を起こす ①原子力エネルギー； ②核融合エネルギー； ③化石エネルギー； ④再生可能エネルギー； ⑤水素； ⑥燃料電池； ⑦エネルギー輸送； ⑧低炭素エネルギー貯蔵； ⑨低炭素型移動体； ⑩エネルギーマネジメント； ⑪低炭素製造技術・コプロダクション； ⑫省エネルギー； ⑬その他技術開発における評価ツール等
No. 7	水・食料・鉱物などあらゆる種類の必要資源を扱う ①未利用資源； ②農林水産資源； ③水資源； ④環境、再生資源、リサイクル、LCA； ⑤炭化水素資源、鉱物資源および CCS； ⑥太陽利用、宇宙放射線； ⑦資源基盤技術、資源に関わる人文・社会融合領域、資源を生み出す利益の適正配分、人材育成
No. 8	環境を保全し持続可能な循環型社会を形成する技術 ①社会系（環境リスク評価／リスク管理／リスクコミュニケーション、環境経済政策／環境経済評価／環境経済指標／環境経営手法、ライフスタイルと環境）； ②メカニズム・基礎系（環境評価・環境予測・シミュレーション技術、環境モニタリング）； ③対策技術系（都市・農村環境、温暖化の評価と対策技術、生態系・ランドスケープ・生物種・ハビタット・遺伝子の多様性保全、復元及び関連する政策、都市廃棄物極少化技術／環境保全型物質循環技術／省資源・省エネルギー製品、大気・水・土壌環境の汚染防止／循環型水資源利用技術）； ④その他境界・融合・新興領域
No. 9	物質、材料、ナノシステム、加工、計測などの基盤技術 ①ナノ基盤材料； ②出口（プロダクト）； ③計測・分析手法； ④モデリング・シミュレーション； ⑤社会システム・その他

分科会	視点及び検討範囲
No. 10	産業・社会の発展と科学技術全般を総合的に支える製造技術 ①少品種大量生産； ②変種変量生産； ③オンデマンド製造； ④その他製造形態； ⑤グローバル化、価値付加、市場創成； ⑥エネルギー、資源、環境； ⑦理工系離れ、人材問題、少子高齢化； ⑧安心・安全
No. 11	科学技術の進展によりマネジメント強化すべき対象全般 ①小さな現象から将来を洞察する、ビジョン形成手法； ②国際競争力低下を防止するためのマネジメント、外国人と対等に戦える人材育成、異文化の共働マネジメント； ③サービスマネジメント、教育研究分野のマネジメント、マネジメントにおける環境経営、政府機関のマネジメント； ④社会イノベーション、ネットワーク創発、創発誘発する仕組み； ⑤人間のマネジメント、ダイバーシティー、人間系のナレッジ、教育、標準化による教育質維持、直感力を鍛える； ⑥ガバナンス・ストラクチャー、アセスメント； ⑦マネジメント強化； ⑧工学的手法によるマネジメントに対する過信の問題、データフローストックのマネジメント、知の構造化
No. 12	生活基盤・産業基盤を支えるインフラ技術群 ①土地利用戦略； ②生活支援戦略； ③生産支援戦略； ④交通・交易戦略； ⑤インフラシステム持続化戦略

5. 抽出された領域と課題を関連付けると、約半数の科学技術課題は将来社会の重要領域に関連しているとみなすことができた。将来社会で必要性の高い科学技術は重要視されるべきものであろう。また、同じ領域に含まれる科学技術課題群は、将来社会に対して同一目標を設定しうる。つまり、これらについては、既存分野の概念を越えて、一つの大きな目標を目指していく新しい枠組みを考えうる。

6. 将来社会のイメージを明確に意識した上で新たな視点で検討を行うことにより、既存の概念を超えた科学技術領域が生まれ、大きなイノベーションが起きる可能性がある。詳細に分析すると、科学技術の各分科会によって関連の粗密が見られ、それぞれに異なる推進方策が考えうる。このような考察は、社会との関連性の認識において現在の潜在的な問題点を洗い出すことになり、新たな分野融合・連携の余地や新たなイノベーションの起こる余地を見出せる期待がある。

7. 特に第４期基本計画へ向けた議論として、今後は、科学技術が「社会に適合したシステム」として社会に取り込まれていく道筋が重要と考えられる。議論すべき要点として、①関連する科学技術の研究開発を系統立てて行うことの意義、②関連する複数の科学技術を一つのシステムとして捉えることの重要性、③社会への適用方策に関する研究の必要性、④社会システムを含めた科学技術の俯瞰性、などが挙げられる。

第1章　調査の概要

第1節　目的

我が国そして世界は、世界同時不況、地球温暖化問題、化石エネルギー資源枯渇など複雑かつ困難な状況に直面している。これらの解決に向けて科学技術への期待は増大しており、また、実際に科学技術が大きな役割を果たすであろうことは、論を俟たない。

科学技術が、閉塞感を打ち破り、持続的で望ましい社会を構築することに寄与するためには、科学技術の成果が社会で価値を持つ状況を作ることが必要である。そのためには、目標到達に向けた最適な科学技術や社会システムは何かといった、科学技術と社会システムの双方の検討に基づく総合的な政策立案が求められる。現在の経済危機は、あるべき未来に向けて真剣に変革に取り組む好機と捉えることができる。

我が国では、第 2 期及び第 3 期科学技術基本計画において科学技術の戦略的重点化が掲げられ、基礎研究推進及びシステム改革と共に、分野という枠組みの中で重点的に投資すべき分野や科学技術が設定された。その後、科学技術成果の社会還元加速プロジェクトやイノベーション 25 など、科学技術が社会に新たな価値をもたらすための仕組みを、社会システムも含めて総合的に捉えて推進する方向性が示された。第 4 期科学技術基本計画策定に向けた議論においては、この新しい方向性を踏まえた、目指すべき日本の姿を起点とした科学技術政策とイノベーション政策の一体的推進が論点の一つになると考えられる。そこでは、あるべき姿の実現に向けて、基礎研究や各分野の重点研究も含めた全ての知の統合、すなわち、科学技術の総合的振興と社会システム最適化が議論の中心となると想定される。

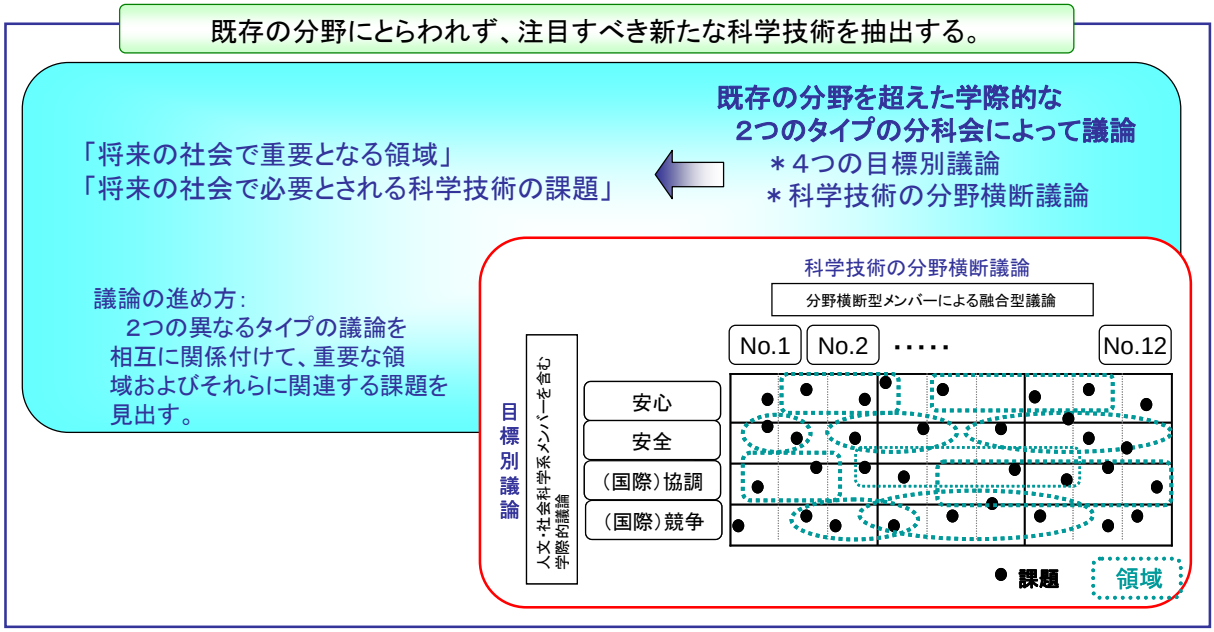
本調査研究は、今後 30 年間を見通して、将来の社会で必要とされる重要科学技術を明らかにすることにより、次期科学技術基本計画の検討を下支えする情報を得ることを目的とする。なお、本調査研究は、2008 年度に科学技術政策研究所が実施した「第 3 期科学技術基本計画のフォローアップに係る調査研究」の計 12 プロジェクトの中の 1 プロジェクトに位置づけられる。

第2節　方法

本調査研究では、2010 年から 2040 年までの 30 年間を展望し、科学技術のニーズ側とシーズ側、すなわち社会の視点と研究開発の視点の双方から科学技術発展の方向性について検討を行い、将来の社会で必要とされる重要な科学技術を明らかにする。その過程において適宜情報交換を行い、双方の議論の関連付けを図る。最後に、双方の結果を踏まえて、総合的な検討を行う。

検討における要点は、既存の分野の枠を超えた学際的、融合的な議論を行うことである。そのための第一の仕組みは、社会目標からのアプローチである。社会目標に到達するためには、分野を限定した議論からは抽出されにくい境界にある科学技術も含め、分野間の連携と融合が必須と考えられるためである。望ましい将来像からのバックキャスティングにより、複数分野が関わる科学技術発展の望ましい方向性を明らかにする。第二の仕組みは、既存の分野を前提としない科学技術展望のアプローチである。分野を予め固定せず、融合的な視点を所与の条件として提示するに留めることにより、対象外とされがちな境界部分も含まれる形で科学技術発展の方向性の議論を行う。図表 1-1 に、調査の全体像を示す。

図表 1-1： 調査の全体像



1. 検討事項

社会の視点からは、科学技術が寄与しうる、あるいは、科学技術の寄与が期待される重要な領域（以降、重要領域）を30程度抽出する。これは、科学技術の目標と位置づけられるものである。一方、研究開発の視点からは、科学技術の発展動向や社会経済へのインパクトなどの潜在可能性を見通した上で重要な科学技術課題（以降、科学技術課題）を 800 程度抽出する。次いで、重要領域と科学技術課題の関連付けを基に、イノベーションが起こる可能性のある新領域とその推進策を検討する。

2. 検討方針

（1）重要領域の検討方針

- 科学技術のミッション（使命・目的）であること。
- 将来の社会にとって重要であり、科学技術の寄与が期待されるものであること。
- 結果的に、複数の科学技術分野が含まれると考えられるものであること。

（2）科学技術課題の検討方針

- 既存の分野概念にとらわれず、融合領域、境界領域、新興領域等も含める。
- 将来の社会的・経済的貢献が大きい、新たな知識を生み出す、新たな科学技術発展の流れや新たな社会の仕組みを作る、重要領域の発展に寄与する、等の可能性を考慮する。
- 科学技術の発展に大きな影響をもたらすと考えられる科学技術以外の事項（制度、社会変化、基盤的事項など）も必要に応じて取り上げる。

（3）重要領域と科学技術課題の関連付けの方針

- 関連付け作業においては厳密性を基本方針とする。すなわち、重要領域の説明として記された事項

に直接寄与する科学技術課題のみを抽出することとし、拡大解釈を行わない。これは、重要領域を広く解釈すると、殆ど全ての課題が関連課題と判断され、関連付けが意味をもたなくなることを避けるためである。

3. 検討体制

社会の視点から重要領域を検討する目標別分科会、並びに、研究開発の視点から科学技術課題を検討する科学技術系ナンバー分科会を設置する。また、各分科会リーダーが参加するリーダー連絡会を開催する。

(1) 目標別分科会

重要領域について検討を行う、安心、安全、協調、競争の 4 つの目標別分科会を設ける。分科会は、科学技術あるいは人文・社会科学の専門家から構成される。

安心および安全は、豊かな国民生活を実感する上で求められる視点であり、国際協調及び国際競争は、グローバル化が進展する状況にあって世界の中の日本を考える上で求められる視点である。日本を基点として、内に向かう議論と外に向かう議論を行う構成である。ただし、分科会名に冠した項目が示す範囲の明確な区分は不可能であることから、検討範囲の線引きは各分科会に委ねられるものとし、内容重複は許容される。

図表 1-2: 目標別分科会の構成

分科会	視点	検討内容
安心	「豊かな国民生活」を実感する上で求められる視点	安心感や充足感のある生活。 例)QOL(生活の質)向上、心と体の健康、医療サービス、育児・高齢者支援など
安全		社会の安全性の維持。 例)社会インフラ整備・維持管理、防災、防犯・テロ対策、情報セキュリティなど
(国際)協調	「世界の中の日本」を考えるうえで欠かせない視点	地球規模の諸問題解決への日本の国際貢献。 例)温暖化対策、環境負荷低減、資源確保・有効利用、感染症対策など
(国際)競争		日本の国際競争力・プレゼンスの向上。 例)新発見・新分野・新ビジネス創出による国際評価向上、産業競争力・GDPの向上、次世代に夢を与える科学技術、など

(2)科学技術系ナンバー分科会

科学技術課題について検討を行う、12 の科学技術系ナンバー分科会を設ける。分科会は、主に科学

技術の専門家から構成される。

各分科会の検討対象範囲は、当該分科会自身が設定する。示された視点を基点として検討を開始するが、その内容が当初の視点とずれた場合には、分科会は当初の視点を変更する。分野横断的な幅広の議論を促すため、分科会名称に分野名を充てず、番号を割り振った。分科会間の調整は行わず、検討内容の重複を許容するものとする。

図表 1-3: 科学技術系ナンバー分科会の構成

分科会	視点*
No. 1	ユビキタス社会に、電子・通信・ナノテクノロジーを生かす
No. 2	情報処理技術をメディアやコンテンツまで拡大して議論
No. 3	バイオとナノテクノロジーを人類貢献へ繋げる
No. 4	IT などを駆使して医療技術を国民の健康な生活へ繋げる
No. 5	宇宙・地球・生命のダイナミズムを理解し、人類の活動領域を拡大する科学技術 （旧：地球の状態を観測し、予測する技術）
No. 6	多彩なエネルギー技術変革を起こす
No. 7	水・食料・鉱物などあらゆる種類の必要資源を扱う
No. 8	環境を保全し持続可能な循環型社会を形成する技術 （旧：環境指標を向上させるための技術）
No. 9	物質、材料、ナノシステム、加工、計測などの基盤技術
No. 10	産業・社会の発展と科学技術全般を総合的に支える製造技術 （旧：大小を問わず製造・インフラを構築する技術）
No. 11	科学技術の進展によりマネジメント強化すべき対象全般
No. 12	生活基盤・産業基盤を支えるインフラ技術群

＊視点の変更があった分科会については、当初の視点を括弧書きで示す。

(3)リーダー連絡会

4 目標別分科会、及び、12 科学技術系ナンバー分科会のリーダーから構成されるリーダー連絡会を開催し、双方の検討結果を基に総合的な議論を行う。

4. 検討手順

重要領域と科学技術課題の検討、双方の関連付け、及び、総合分析の手順は、以下の通りである。

(1)重要領域の検討手順

目標別分科会の計 4 回の会合における検討手順を以下に示す。

第 1 回、第 2 回において、基本認識を共有し、分科会ごとに重要領域案を作成する。第 3 回は、4 分科会合同の会合とし、重要領域案を持ち寄って全体像を見ながらの検討を行う。第 4 回において、重要領域と科学技術課題との暫定的な関連付けも踏まえて、重要領域をブラッシュアップする。併せて、重要領

域設定の考え方を取りまとめる。

第 1 回: 重要領域抽出に当たっての基本認識等に関する議論

第 2 回: 重要領域の抽出、重要領域案の作成

第 3 回(合同): 重要領域案の検討

第 4 回: 重要領域の確定、とりまとめ

(2)科学技術課題の検討手順

科学技術系ナンバー分科会の計 4 回の会合における検討手順を以下に示す。

第 1 回において、分野にとらわれない視点で議論を行い、当該分科会で取り上げるべき事柄を抽出し、範囲を設定する。第 2 回及び第 3 回では、科学技術課題の検討を行う。既存調査*で取り上げられた科学技術課題、及び、重要領域を参照しつつ、将来重要性が高まると考えられる科学技術課題を検討する。第 4 回では、全体のバランスを見ながら、課題数の調整及び内容の精査を行う。ただし、分科会の合意に基づき既存調査からの抽出を省略し、新規課題の検討から入る場合もある。

第 1 回: 分科会で取り上げるべき事柄に関する議論

第 2 回: 既存調査からの重要科学技術課題の抽出

第 3 回: 既存調査から抽出した科学技術課題の詳細検討、新規科学技術課題の検討

第 4 回: 科学技術課題の数および内容の調整と確定

*科学技術政策研究所、「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査－デルファイ調査」(2005)

(3)重要領域と科学技術課題の関連付けの手順

目標別分科会の第 3 回会合は、全目標別分科会メンバー並びに科学技術系ナンバー分科会メンバー有志の参加による合同ワークショップとする。各目標別分科会は、重要領域設定に当たっての考え方と重要領域案を提案し、全参加者による議論に供する。この議論を踏まえ、各目標別分科会は重要領域案を確定する。

確定した重要領域案は、科学技術系ナンバー分科会に提供される。各科学技術系ナンバー分科会は、新規科学技術課題の作成に当たり重要領域を適宜参照し、必要と判断されるものについて科学技術課題を作成する。

これをもとに、事務局において、重要領域案と科学技術課題案の関連付け作業を行う。

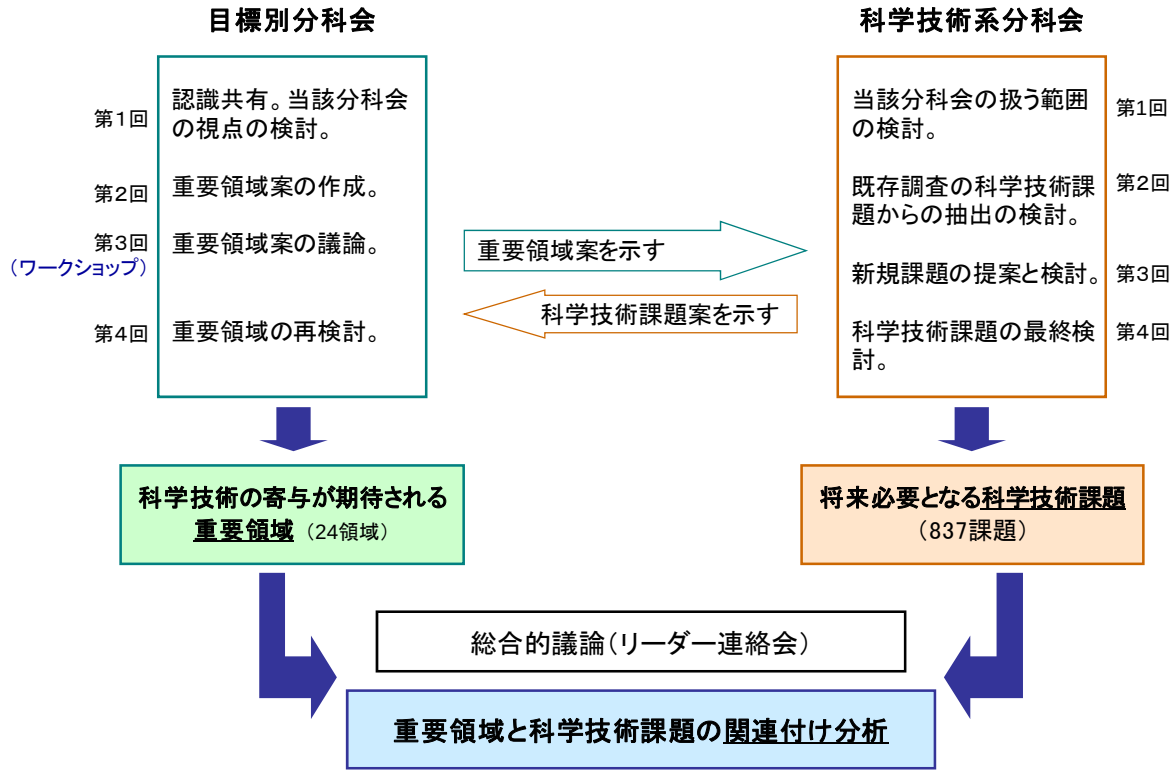
重要領域案と科学技術課題案の関連付けの結果は、目標別分科会、科学技術系ナンバー分科会の双方に情報提供される。これを参考に、各分科会は、重要領域あるいは科学技術課題の最終検討を行い、確定させる。

(4)総合分析の手順

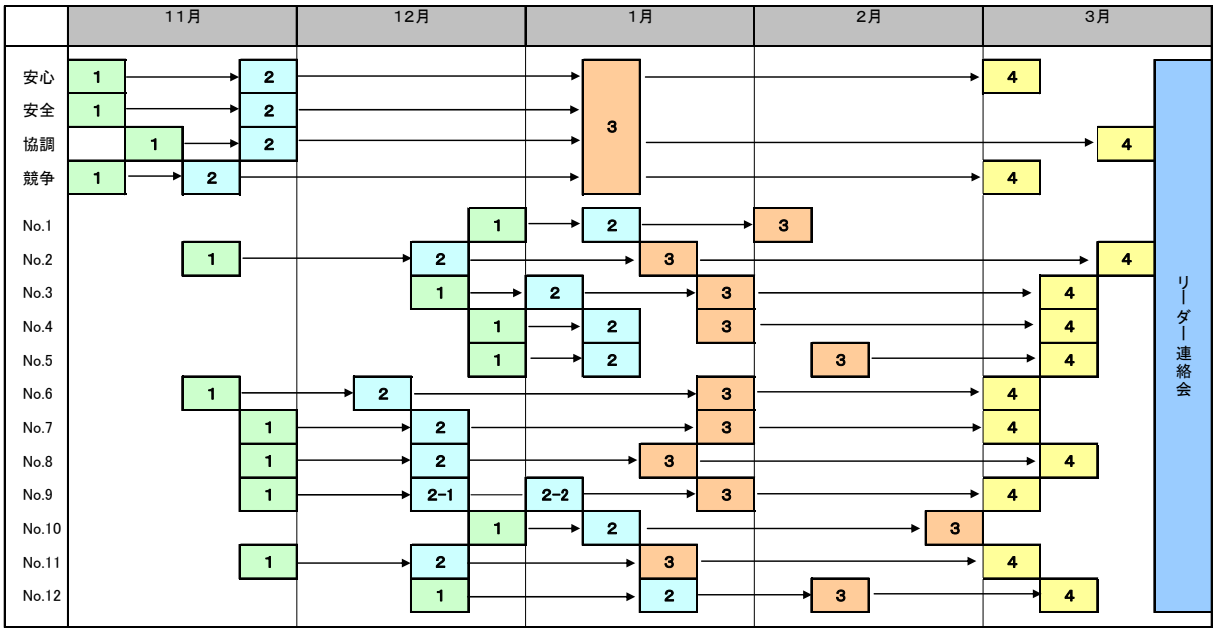
目標別分科会、科学技術系ナンバー分科会での検討が終了した時点で、双方の結果、及び、関連付けの結果を基に、イノベーション創出が期待される新領域及びその推進策について総合的に検討する。

検討の流れ及び会合開催状況を図表 1-4、1-5 に示す。

図表 1-4： 検討の流れ



図表 1-5： 会合開催状況



第2章　重要領域の設定

安心分科会及び安全分科会による、「豊かな国民生活」を実感する上で求められる視点からの検討、並びに、協調分科会及び競争分科会による、「世界の中の日本」を考える上で欠かせない視点からの検討を経て、24 の重要領域が設定された。以下、各分科会での検討の要点と重要領域の概要を示す。

第1節　安心分科会

1．要点

科学技術は、産業革命以来、富を生み出す源泉として、新発見があればそれをいかに技術につなげ、いち早く産業化し、社会に還元し、イノベーションを引き起こし、結果として豊かさを享受するかという観点からとらえられてきた。しかし、サブプライム問題に起因する社会の金融システムの混乱、GMO 植物が生態系に与える影響など、そこで用いられている個々の科学技術は素晴らしい技術であるにも関わらず、システムとして破綻を来たし、我々に多大な悪影響を与え、不安をもたらしているのも無視できない事実である。

歴史を振り返ってみると、科学技術は戦争とともに大きく発展し、その度に巨額の研究開発資金が投入され、それまで不可能だと思われてきたことが実現され、それらの新技術は社会に還元され、イノベーションを引き起こし、幸か不幸か先進国の豊かさに貢献してきた。近年の環境システムや社会システムの破綻に見られるように、科学技術の発展が進むにつれ、個々の技術が複雑になるとともに、それらが複雑に絡み合い、大規模なシステムとして時に予測できない振る舞いをし、我々の安全と安心を脅かすようになりつつある。

「安全」と「安心」は、これまでも色々なところで議論されているが、一緒に議論されることが多い。安心分科会では、「安心」を議論するにあたり、

- 危険を取り除いた状態が「安全」
- 不安を取り除いた状態が「安心」

と考えて議論することにした[1]。

技術的に議論が可能な「安全」とは異なり、「安心」は心理的な側面も持ち議論することが難しい。そこで、議論を科学技術との関係に絞り、科学技術がどのように不安を取り除くことに貢献でき、「安心」を得られるかについて議論することにした。まず、我々の日常生活で、現実に科学技術が不安につながっている場合について議論し、本問題への取っかかりとして以下のような視点を得た。

①人間にとって必要でない科学技術

科学は Curisousity-driven で行われるので、結果として必要でない科学技術も生まれてしまい、結果的にそれが社会で利用され、不安を招いている場合もあるのではないか。

②社会制度が未整備なままでの科学技術の社会適用における懸念

科学技術の良さを生かすには、社会制度の整備が不可欠な場合がある。現実には新技術の有用性

だけが強調され、制度の整備が行われる前に利用され、現実に不安を招いている場合がある。

③科学技術の悪用がもたらす不安

科学技術にもよるが、悪用する方法を見つけることの方が、問題設定として簡単な場合が多い。例えば、安心な情報システムを構築することは、予測がつかないものに対する技術開発であり非常に難しい。

④科学技術を活用するための教育

技術のオープン化によって、特段にトレーニングしていない人も様々な科学技術にアクセスできるようになり、それが混乱をもたらしている場合もある。科学技術に対する教育が必要である。

⑤科学技術を安心して使えるシステム

科学技術に関わる不安を払拭するには、新しい技術を安心して使うための評価やシステム構築が必要である。

⑥安心社会を実現するための科学技術

科学技術開発には、Beyond human technology（特に軍事関連）とWithin human technology の 2 つの立場がある。Within human technology のアプローチで科学技術は安心に貢献できるのではないか。

⑦その他

「安心」の議論を進めていくと、各論に入り込んでしまう問題があるので、良好な科学技術とは何かといった視点で検討することは重要である。

次に①～⑦の視点から重要領域を議論し、以下のように、システム的視点と個別領域的視点からの提案がなされた。なお、個別の領域での提案でも、システム的視点の提案が含まれていることに着目したい。

○システム的視点からの重要領域

［社会システムの構築］ ディペンダブルな（頼れる）基盤技術の構築、システム構築のための科学的な技術研究、システムの全体最適化、サイエンスやエビデンスに基づいた政策決定システム

［システムの見える化・分かる化］ システムの見える化（システムや社会状況の開示）、安心を工学する、分かる化を工学する、社会システムの評価（予測）システムの構築、進む技術に対して、制御する技術（カウンターテクノロジー）

○個別領域からの視点からの重要領域

［情報システムの統合］ 個人情報の漏洩を防ぐとともにデータベースを統一し整合性を確保する。

［高齢者対策］ 独居老人の孤独死防止（システム、近所の目）、介護ロボットのビジネスモデル、機械によらないリスク管理や運動による体の維持、認知症の恐怖をなくすような薬、認知症でも安心して運転できる車、高齢社会におけるインフラ整備（みんなの道路）

［資源・食関連重要領域］ 持続可能な社会実現（食資源、電気、エネルギーなど）、化石燃料の効率的な利用と回収、食の安全のためのトレーサビリティ、化学物質の生態へのリスク

［防衛関連］ テロ・拉致の撲滅、恒久平和を守るための技術

［教育・若年層への対策］ ニートを長期化させない基礎学力および基礎体力の向上

［医療関係］ テーラーメイド・メディシン、医療に関するリスクコミュニケーションや教育、健康の質

(QOL)の定量化、縦割りでない包括的な医療や治療体制

これらの項目について議論し、提案の具体性等を考慮し、重要領域として以下の 6 領域を抽出した。詳細は、次項で述べる。

1: ディペンダブルな公共システムの構築
2: システムの分かる化
3: 質の高い健康の確保
4: 持続可能な生活の実現
5: 高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現
6: 恒久平和の実現

安心分科会では、特に意識して議論したわけでもないが、このように、結果として、従来からの価値に基づく科学技術としての重要領域と、従来の科学技術領域としてはおそらく議論されていなかったシステム的視点からの提言も含まれている。科学技術と何らかの関わりのある「不安」を取り除き、より「安心」な社会を実現するには、純粋な科学技術的観点だけではなく、システム的視点も取り入れた科学技術政策の立案が必要であるということを意味している。

善意ある科学者によって開発された技術が、システムとして予見できない振る舞いをし、結果として人類を不幸にすることは、絶対に避けなければならない。新技術は、産業化プロセスを経て社会にイノベーションを引き起こし、結果として人類の福祉に貢献するという楽観的な前提は、既に崩れ始めているのはないであろうか。現在、社会で何が起こっているのかについて、今すぐに議論することは難しいが、サブプライム問題に端を発した混乱を検証することによって、今後、多くの教訓を得るであろうし、それらは適切に科学技術政策に反映し、システムとして我々の不安を払拭し、安心な社会を構築する必要があろう。

[1]村上陽一郎『安全と安心の科学』(集英社新書、2005 年)

(小菅 一弘)

2. 重要領域とその概要

上術のとおり、安心分科会での検討の結果として、「ディペンダブルな公共システムの構築」、「システムの分かる化」、「質の高い健康の確保」、「高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現」、「持続可能な生活の実現」、「恒久平和の実現」の 6 つの重要領域が挙げられた。

「ディペンダブルな公共システムの構築」に含まれる内容としては、まずシステム構築学が挙げられる。関連する科学技術としては、ディペンダブルな基盤技術の構築、オープンシステム学、Redundancy が相当する。また、効率化と Redundancy のバランスよって全体最適化を図ることが求められる。サイエンスやエビデンスベースの社会の意思決定システムもまたディペンダブルな公共社会の実現に向けて重要である。そして、ディペンダブルな公共システムの構築においては、現在はタブー視されているが、公共データベースの一元化といった情報システムの統合も必要である。

「システムの分かる化」に含まれる内容としては、開示可能なシステムの構築、予測や評価によるシステ

ムの見える化、安心工学、カウンターテクノロジーや PDCA などの制御技術が挙げられる。

「質の高い健康の確保」に含まれる内容としては、カスタマイゼーション（テーラーメード）、健康の質の定量化、リスクコミュニケーションによる健康知識の普及・啓発、縦割りでない包括的な医療／治療体制が挙げられる。

「高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現」には、機械によらないリスク管理や運動による体の維持により自助、独居老人の孤独死防止を例とする共助、ユニバーサルデザイン、高齢化社会におけるインフラ整備といった公助、認知症の恐怖をなくすような薬、認知症でも安心して運転できる車による QOL の recession の各理念が含まれる。

「持続可能な生活の実現」に含まれる内容としては、食（トレーサビリティ、化学物質の生体へのリスク、安定供給）、資源（元素戦略、安定確保）、エネルギー（リユーザブルエネルギー、化石燃料の効率的な利用とエネルギー回収、低炭素）である。

最後の項目である「恒久平和の実現」には、防衛システムの構築、ソフトパワー、ホームランドセキュリティが含まれる。

図表 2-1： 安心分科会で設定された重要領域

領域	内容	含まれる科学技術や事柄
ディペンダブルな公共システムの構築	システム構築学	ディペンダブル基盤技術の構築、オープンシステム学、Redundancy
	全体最適化	効率化と Redundancy のバランス
	サイエンスやエビデンスに基づいた社会の意志決定システム	
	情報システムの統合	公共データベースの一元化
システムの分かる化	システムの見える化	開示可能なシステムの構築、予測と評価
	安心工学	
	制御技術	カウンターテクノロジー、PDCA
質の高い健康の確保	カスタマイゼーション	テーラーメード
	健康の質の定量化	
	健康知識の普及・啓発	リスクコミュニケーション
	縦割りでない包括的な医療／治療体制	
高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現	自助	機械によらないリスク管理や運動による体の維持
	共助	独居老人の孤独死防止（システム、近所の目）
	公助	ユニバーサルデザイン、高齢社会におけるインフラ整備（みんなの道路）
	QOL の recession（後退）	認知症の恐怖をなくすような薬、認知症でも安心して運転できる車
持続可能な生活の実現	食	トレーサビリティ、化学物質の生体へのリスク、安定供給
	資源	元素戦略、安定確保
	エネルギー	リユーザブルエネルギー、化石燃料の効率的な利用とエネルギー回収、低炭素
恒久平和の実現	防衛システム、ソフトパワー、ホームランドセキュリティ	

第2節　安全分科会

1．要点

(1)安全とは何か

安全とは、危険がない状態を指すことが一般的であるが、この安全は、個人的安全と、社会あるいは国家が保障すべき安全(社会的安全)の二種類に分けることができる。

個人的安全とは、家の施錠、自分が使うパーソナルコンピュータのパスワードを頻繁に変更するなど、個人の自衛策によって確保できるものである。

一方、社会的安全は、社会によって個人が生まれつき保障されるべき安全と、個人が社会に委託することにより保障される安全とに分けられる。

前者は、基本的人権や健康で文化的生活が保障された状態である。後者には、地域の治安や行政サービスが保障された状態を含むが、これらの治安や行政サービスは、我々が社会に委託するにあたって税金などを納め、これにより成り立っている点が前者とは異なり、その違いを意識する必要がある。

上記の安全を保障するには、この安全を脅かす存在、つまり危険因子について考えなくてはならない。危険因子には、交通事故における自動車などの人工物がまず挙げられる。これは純粋に科学・技術の産物であるが、火災などの自然災害、強盗などの犯罪なども、決して科学技術と関係の薄い問題ではなく、安全を保障するためのシステムの構築により科学技術の問題としても対処すべきである。つまり、安全の確保とその原因たる危険因子の排除は、社会だけでなく科学技術からも取り組むべき課題である。

(2)安全への科学技術からのアプローチ

安全を科学技術の面から保障するには、まず科学技術からのアプローチすべき項目を整理する必要がある。

まず、高度のITの導入により、機械やコンピュータからなるシステムが個人の行動を理解し、それに合わせた行動をとれるようにすべきである。

また、災害時に迅速な対応をするための情報通信システムの高信頼化も重要であろう。

システムの高信頼化においては、個人の感覚の違いも念頭に置くべきである。例えば、ある高さの場所から、抵抗なく飛び降りてしまう人と、そうでない人がいる。これからのシステムは、守るべき対象である人の安全への認識、そして個人の生活環境や家庭環境の違い、メンタル面も判別し、個別に適切な対応をとることが求められるのではないか。

このようなシステムを実現するには、安全を感覚としてとらえるのではなく、安全に関する事例を分析・数値化・体系化する安全工学・安全科学の構築を急ぐべきであろう。それと並行して、災害・事故の未然防止・軽減プランの策定に対してもこれまで以上に力を注ぐべきである。

(原島　文雄)

2．重要領域とその概要

安全分科会の検討結果として、「安全に関するデータ・知識の連携・統合・提供」、「社会安全全体のシステムの構築」、「個人個人の安全性確保」、「安全の責任の分配(個人によるもの、国によるもの)」、「安全文化・安全教育」、「人工物(情報システム等も含む)の安全性確保」、「人の安全性」、「環境、災害から

の安全性」の 8 つの重要領域が挙げられた。

「安全に関するデータ・知識の連携・統合・提供」に含まれる内容は、人間行動理解、安全に関わる項目の洗い出しと数値化等であり、これらと関連する科学技術としては、社会基盤の高安全化、数値安全科学等が挙げられる。

「社会安全全体のシステムの構築」に関連する科学技術としては、防衛、ライフライン、医療・福祉等が挙げられる。

「個人個人の安全性確保」に含まれる内容は、安全確保のための人間とコンピュータの相互理解技術であり、これと関連する科学技術としては、人間の心理を理解する人工知能が挙げられる。

「すべての責任の分配」に関連する科学技術としては、法制度、安全産業等が挙げられる。

「安全文化・安全教育」に含まれる内容は、安全知識体系、安全観、人間行動の欠陥モード分析であり、これと関連する科学技術としては、安全文化、人間の心理を理解する人工知能が挙げられる。

「人工物の安全性確保」に含まれる内容は、避難しなくても居住者の安全を確保可能な住宅、新技術に起因する危険性の発掘・評価・分析・対処技術等であり、関連する科学技術としては、社会基盤メンテナンス工学、情報システムの高信頼化等が挙げられる。

「人の安全性」に含まれる内容は、加速的に変化する犯罪対応、犯罪防止、捜査支援・鑑定、人身事故ゼロを目指した技術開発等であり、これらと関連する科学技術としては、新たな犯罪防止、捜査支援・鑑定に必要な技術・システム、事故を起こしえない自動車の開発等が挙げられる。

「環境、災害からの安全性」に含まれる内容は、産業・社会システム等の安全性評価、危険予測、危険の可視化等であり、これらと関連する科学技術としては、首都直下地震・海溝型地震を生き抜く技術、被害の早期復旧のための技術等が挙げられる。

図表 2-2: 安全分科会で設定された重要領域

領域	内容	含まれる科学技術や事柄
安全に関するデータ・知識の連携・統合・提供	人間行動理解、高安全知識体系、オントロジー等 生活環境・年齢等により安全マップ作成（普及・教育） 安全に関わる項目の洗い出しと数値化	社会基盤の高安全化 人生（生活）安全マップ作成 数値安全科学
社会安全全体のシステムの構築	防衛 ライフライン、食、水、大気 医療・福祉	
個人個人の安全性確保	安全確保のための人間とコンピュータの相互理解技術	人間の心理を理解する人工知能
安全の責任の分配（個人によるもの、国によるもの）	法制度、安全産業	
安全文化・安全教育	安全知識体系、安全観、人間行動の欠陥モード分析	安全文化 人間の心理を理解する人工知能
人工物（情報システム等も含む）の安全性確保	人口減少社会に向けて長く有効利用 避難しなくても居住者の安全確保可能な安全住宅 新技術に起因する危険性の発掘・評価・分析・対処技術 安全に対する配慮 情報システムの開発・利用・運用に関する人間行動理解 人間行動理解	社会基盤メンテナンス工学 少子高齢化が進展した社会で災害弱者等の安全を確保する技術 今後 20 年間で新しく登場する災害・事故に備える科学技術 原子力の安全性に関する情報の信頼性 情報システムの高信頼化 情報流通基盤の高安全化
人の安全性	加速的に変化する犯罪対応、犯罪防止、捜査支援・鑑定 運転阻止システム、迅速発見技術、正常運転自動判断 人身事故ゼロを目指した技術開発	新たな犯罪防止、捜査支援・鑑定に必要な技術・システム 飲酒運転等の危険運転を防止するためのシステム 事故を起こしえない自動車の開発
環境、災害からの安全性	産業・社会システム等の安全性能評価、危険予測 発見・救出・脱出・避難技術、危険察知・危機回避能力 現場感知・検知簡易化、パニック・二次災害防止、運搬 予測・評価・防護、長期被災生活環境改善、危険可視化 災害応急活動終了後の安全安心（施設等早期修復など）	災害・事故の発生を未然に防止する科学技術 災害・事故発生時の被害を軽減する事前対策の科学技術 災害・事故発生時の被害を軽減する対処のための科学技術 首都直下地震・海溝型地震を生き抜く技術 被害早期復旧のための技術

第3節　協調分科会

1．要点

我が国の「科学技術」の現状を見直し、今後いかに進めるべきかを考えるにあたって、日本人特有の「自虐的」評価を避けるため、まず海外からの評価を参照したい。

アングロサクソン系の見方は比較的よく知られているので、たとえばフランス人がどう考えているかを、ジャック　アタリの「21世紀の歴史」を例に取って見てみると、

日本は；

- なみはずれた技術ダイナミズムを持っている。しかし、既存権益を守るあまり、将来性のある産業・企業の活力、イノベーションを犠牲にしている。
- テクノロジーは抜きんでていても個人の自由が確立されていない。
- 十分なクリエータ階級を育成してこなかった。
- アジアで信頼感、一体感のある友好関係を創り出していない。
- 日本はいまだ「世界中心」になり得ていない。

というのである。

すなわち、欧州人らしいクールな視線ながら、少なくとも日本の「テクノロジー」には一目置き、「国際的展開の強化」すなわち広義の「**外交**」の重要性を指摘している。

我が国はこの「**強みと弱みの自覚**」から出発して、「**強みを基盤とした国際協力**」と「**弱みを補うための国際協調**」の両方を推進する必要がある。

一方、日本人の中にも日本の科学技術の「強み・弱み」を踏まえた上で、「国際連携・協調」についてユニークな提言を試みている例がある。

伊東乾准教授は「日本にノーベル賞がくる理由」の中で、現在のところアジア地域で唯一、日本の科学技術がノーベル賞対象として認知され、評価されている事実を踏まえた上で、

- 公共事業としての学術政策展開（福井謙一）。
- 日本の大学・教育機関の国際展開。アジア・アフリカ・ラテンアメリカへ大学の支店設置。
- 日本文化の伝統である、「差別・偏見」の相対的な少なさ　をベースとした国際協力。
- 日本の中高年「頭脳」余りの活用。

によって、日本の「**教育・人材」面での潜在ポテンシャルを顕在化**し、その戦略的活用を推進すべきと強調している。

また、藤本隆宏教授は「科学技術」の中でも、特に「産業技術」における日本の競争力の特徴を考察して、

- 日本の「ものづくり」は単なる「物」作りではなく、「企画・設計・製造から商品化・サービス・リサイクル」にまで至る一貫した概念である。
- 日本の競争力には「価格・収益・商品性」といった「表の競争力」に加えて、「現場力・ものづくり組織力」という「裏の競争力」が合わさっている。
- 日本の中でも強い企業は、「修正の速さ、的確さ」が特徴である。
- 日本の得意技の一つは複雑で厳しい設計条件の製品に対する「すりあわせ」能力である。

- 21 世紀は製造業からサービス業への単純な移行ではない。製造とサービスの混成体への進化である。日本の製造業における得意技である、この「統合型ものづくりの組織能力」をサービス業へも知識移転すること。すなわち「良い設計の良い流れ」を確立することが必要である。
- 「グローバル」化は必須であり、日本の「生産技術」は「移転」に成功している。
- 課題は「国内の一層の高生産性化」である。
- 日本国内での「高感度・高生産性」現場力を経営的に支援すべきである。
- 「定年ベテラン」を「ものづくりインストラクター」にする。そのための「養成師範学校」を設置すること。

と要約し、かつ提言を行っている。

これらの指摘は、「日本のものづくり」を「日本の科学技術」と置き換えて、「科学技術」に対しても「翻訳」、「適用」することが可能なはずである。
たとえば;

- 日本の「科学技術」は単なる「発見・発明」ではなく、「構想・研究展開から成果・公表・権利化・実用化」に至る「**一貫したプロセス**」でなければならない。
- 日本の「科学技術の競争力」には「最終成果段階」での「**表の競争力**」に加えて、「科学教育・人材育成」、「自然と人間への一体化した関心」、および「応用への強いこだわり」という「**裏の競争力**」が合わさっているべきである。
- 「**グローバル化**」は必須。
- 日本国内での「**高感度、高生産性現場力**」を、高い、良質の「**リーダーシップとマネージ力で支援**」すべきである。
- 「**高能力者**」に対しては、「**年齢による差別廃止**」の立場から出来る限り長く活用すべきである。

ということであろうか。

ただし、同じ文化的伝統に立っているはずでも、日本の場合、歴史的背景の違いから、「産業技術」と「学術」ではその実態、特に方法論には違いがある。

19 世紀末から 20 世紀にかけて活躍したフランスの思想家のポール ヴァレリーは、有名な「方法的制覇」というエッセーの中で、「もの」の発見・発明に加えて、「こと(方法論)」の創出、展開こそ力であると述べているが、日本が「産業技術」で成功したこの教訓を、「科学技術」においても活かすべきである。
ヴァレリーのこの文章は普仏戦争以来のドイツの勃興をフランスに対する脅威ととらえ、その力の源泉を考察したもので、手放しの肯定論ではないが、「科学技術」の「基本計画立案」にあたって、多くの人が新しい「科学的発見」を課題としがちであることを考えると、「**方法論重視**」、「方法論創出自体の課題化」は重要な留意点であると考える。

最初に述べたジャック アタリの指摘は、また、日本の大きな弱点として、「**発信力**の貧弱さ」、「**影響力行使**の稚拙さ」に皮肉な目を向けている。日本人の「言挙げしない」精神的風土はここでは、美点ではなく、明らかな欠点であり、彼等にとっては「利用すべき弱点」である。日本の科学技術戦略の中でこれに対する具体的改善案が、「**ひと**」、「**しくみ**」、「**しかけ**」の各面について、「戦略レベル」、さらには「戦術レベル」でも立案、展開されねばならない。

次に具体的領域としては;
①国際的に協力すべき領域(強み)
②国際的に学び協調すべき領域(弱み)
および、
③国際的視野のもとに推進すべき「方法論」領域
について、検討されなければならない。
以下にキーワードを掲げる。詳細は「科学技術系ナンバー分科会」との議論を通じて深めたい。

①国際的に協力すべき領域(強み)
- 健康: 生涯にわたる健康な生活
- 生産: 高品質ものづくり
- 省エネ: 技術・政策・評価
- 防災: 技術・政策・評価
- 公害: 技術・政策・評価

②国際的に学び協調すべき領域(弱み)
- 資源・エネルギー
- 人口・貧富・紛争・病気
- 人間性・教育・職業・サービス
- 居住圏・生存圏
- 情報・通信・交通

さらに「方法論」については、ひとつの領域にまとめることは難しいが、その重要性から、いくつかに大くくりして提示する。
③国際的視野のもとに推進すべき「方法論」領域
- 合意形成と標準化方法論
- 科学的発見の産業化とリスク管理方法論
- 適応と配分方法論
- グローバル問題のローカル解決方法論
- 計測・モニタリングとシミュレーション方法論

(井上 恵太)

2. 重要領域とその概要

協調分科会の検討の結果として、「未発見・未利用資源エネルギーの探査・開発・確保」、「地球規模の人間活動のウォッチングと制御」、「人類の生涯にわたる健康な生活」、「日本発の科学技術の産業化」、「教育機能の展開と活用」、「国際的課題を解決するための方法論の開拓」の6つの重要領域が挙げられた。

「未発見・未利用資源エネルギーの探査・開発・確保」に含まれる内容として、未利用の資源やエネルギー、極地の資源を開拓するための正当なデータベースの把握や資源管理の国際ルール等であり、資

源データベースや技術サービスの提供、探査技術としての画像処理技術、ピークオイル緩和策としての石油開発の科学技術が求められる。

「地球規模の人間活動のウォッチングと制御」に含まれる内容として、気候変動による地球温暖化に適応するための技術と制度的対応、地球規模問題に対する地域対応、そして異常気象災害に対する予測・対策が挙げられる。これらと関連する科学技術として、モニタリング技術、予測技術、計測・監視・制御技術とともに、カタストロフィー回避のための知識、新しい経済学が求められる。

「人類の生涯にわたる健康な生活」に含まれる内容として、新興・再興感染症対策から様々な分野におけるリスク管理・協調が挙げられる。また、都市と田舎における健康で快適な居住空間の設計も生涯にわたる健康な生活を実現する上で欠かすことができない。これらと関連する科学技術としては、Health Impact Assessment や栄養学、感染症対応の科学技術が考えられる。

「日本発の科学技術の産業化」に含まれる内容としては、日本の強みである高品質ものづくり、トランスポーテーション＆テレコミュニケーション領域の実環境の提供、遠隔技術からなる。科学技術の課題としては、技術伝承等を含めた人的資源の問題、トランスポーテーション＆テレコミュニケーション技術の高度化、これらに関連する土木技術が挙げられる。

「教育機能の展開と活用」については、科学技術を支える基盤として一人ひとりの資質に応じた教育、教育人材の育成、海外への派遣等が考えられる。これらに対して、教育やトレーニング手法等における科学技術の貢献が求められている。

「国際的課題を解決するための方法論の開拓」については、科学技術外交や国際的な合意形成を支援する科学技術の必要性が挙げられる。例えば、テーマの関連性の解明技術や国際社会における政策合意技術の開発、国内の合意形成技術等が考えられる。

図表 2-3: 協調分科会で設定された重要領域

領域	内容	含まれる科学技術など
未発見・未利用資源エネルギーの探査・開発・確保	正当なデータの把握、未利用の資源やエネルギーの開拓、極地の資源 次世代エネルギー資源メタンハイドレート資源化、日本海海洋資源探査と技術研究開発 資源管理国際ルール	資源データベース、技術サービスの提供、画像処理(探査技術) ピークオイル緩和策(石油開発)
地球規模の人間活動のウォッチングと制御	人口制御と安定社会 巨大地震・異常気象による災害の予測・対策 温暖化への適応技術と制度的対応 水資源(洪水・渇水)、食糧の適正な配分 地球に優しいエネルギー、省エネルギー 地球規模問題の地域対応	カタストロフィーの回避 新しい経済学 地球システムの解明 モニタリング、予測、計測・監視・制御 温暖化影響予測の精緻化 低炭素社会、循環型社会、生物共生
人類の生涯にわたる健康の実現	健康リスク管理・協調 途上国との相互理解による健康の実現 新興・再興感染症対策、感染症リスク評価 健康で快適な居住空間設計(都市、田舎)	Health Impact Assessment 栄養学、感染症
日本発の科学技術の産業化	高品質ものづくり バイオ・ナノテクノロジー トランスポーテーション&テレコミュニケーション領域(実環境の提供、遠隔)	技術伝承、人的資源の確保 トランスポーテーション&テレコミュニケーション技術の高度化 土木技術
教育機能の展開と活用	国内において: 国際的にリーダーシップをとれる人材の育成、科学技術のリーダーの育成 一人一人の資質に応じた教育、教育人材育成および海外派遣	
	国外において: 教育、トレーニング手法の提供	
国際的課題を解決するための方法論の開拓	科学技術外交、合意形成	テーマの関連性解明技術、国際社会における政策合意技術の開発、国内の合意形成技術

第4節　競争分科会

1．要点

(1)国際情勢の認識

20 世紀を通じて国際社会の動きをリードしてきたパラダイムは軍事力と資本の動き(金融)であり、経済成長の成果は、その二つの力に結び付けて議論されてきた。しかし、21 世紀のパラダイムはそこから大きく転換しようとしている。

21 世紀のパラダイムは、経済成長という規模を追い求める競争ではなく、地球規模の課題にどこまで責任をもって対応するかという知的リーダーシップに移行しつつある。この観点からみると、国際協調と国際競争は、次世代の判断基準やルールをどう設定するかという能力と、その中でどういった独自性や存在感を発揮できるかという点から検討されるべきである。

(2)科学技術との関係、人材育成

技術開発という面から見ると、これまでの国際競争力はR&Dの水準や、技術開発の成果を論文数や製品開発力、特許獲得数に結び付けるなど、どちらかというと企業レベルの市場戦略が重要だった。これからの技術開発には、地球規模の課題の解決というビジョンが加わり、ひとつの国の国家戦略だけではなく、国際社会あるいは多国間の調整をリードする能力が必要とされる。その国際交渉の舞台をどう日本に引き付けるか、あるいは新しいビジネスルールや、新産業をどう創出するかという視点が必要となる。

具体的には、環境エネルギー面でのリスク指標(測定指標)の開発、人命に及ぶリスクの低減という目標に関する議論を日本にどう引き付けるか、国際会議の議長職の遂行能力、提案能力の育成が焦点になる。この提案能力は、地球課題の抽出能力や、持続的な説得力、異なる環境に対応できるタフネスに大きく依存する。こういった外交交渉力は、これまでの日本外交戦略に含まれていないため、今後科学技術の応用課題を理解できるグローバル人材育成が課題である。

(3)日本の強みと情報共有の観点、新市場の創出力

技術先進国の役割は、国内での問題解決ではなく、途上国など国際社会での問題解決に移るにつれ、国内の技術開発から途上国への技術移転力の発揮という点に移る。特に、環境エネルギー面でのリスク指標の開発、人命に及ぶリスクの低減という目標に照らした場合、環境技術の移転は戦略的に重要になる。こういった目標に照らして、先進技術を活用できる立場にある日本の責任は重く、また日本はその一角を占めるべきである。これまで、先進国の例を見ながら、それに追いつく観点が重要だったが、今後の国際競争力は、技術を異なる環境に適合させるための開発、基礎となる情報のハブや情報共有システム(情報のオープン化)の提供というインフラ整備に着手すべきである。

(竹内　佐和子)

2．重要領域とその概要

国際競争分科会の検討結果として、「国際社会に通用するインテリジェンスとタフネス」、「認識の共有」、「日本的センスに基づく方法論の提示」、「将来需要発掘のための贈与型技術移転」が挙げられる。

「国際社会に通用するインテリジェンスとタフネス」に含まれる内容は、知的生産力、応用展開力、コミュ

ニケーション能力等であり、これらに関連する科学技術としては、国際的インテリジェンスコミュニティの確立、アプリケーションスクールやプロフェッショナルスクールの確立等が挙げられる。

「認識の共有」に含まれる内容は、歴史・文化の共有、多様な認識である。これらに関連する科学技術としては、認識の共有技術、世界の多様性に接近できるクロスカルチャーの認識方法等が挙げられる。

「日本的センスに基づく方法論の提示」に含まれる内容は、方法論の提示、新サステナビリティー学等であり、これらに関連する科学技術としては、医学診断分野の認識方法、生産－消費時間の短縮等が挙げられる。

「将来需要発掘のための贈与型技術移転」に含まれる内容は、技術移転力、ヒューマニティである。これらに関連する科学技術としては、贈与をきっかけとする競争力獲得等が挙げられる。

図表 2-4: 競争分科会で設定された重要領域

領域	内容	含まれる科学技術や事柄
国際社会に通用するインテリジェンスとタフネス	知的生産力 応用展開力 コミュニケーション能力 人的資源の開発 人材育成	応用展開能力向上 知的労働への積極的評価 国際的インテリジェンスコミュニティの確立 アプリケーションスクール、プロフェッショナルスクールの確立 多言語化の中でアルファベットに依存しないで認識を共有する方法の開発 Medical Language などICTインフラ 温室環境下で人材育成することの弊害、影響への対応(タフネス)
認識の共有	歴史、文化の共有 多様な認識	認識の共有技術(多言語を支える仕組み、データベース、国際的なコミュニケーション技術、オーギュメントリアリティ、タンジブルインタフェース、“雰囲気”の共有技術、“違い”が伝わる技術、ブレイン・マシン・インタフェース) 美意識や哲学などの暗黙知の共有化(例:茶の湯などを通じた鑑賞、読み取り方の刷新) 技術知識だけでなく総合的教養の向上 世界の多様性に接近できるクロスカルチャーの認識方法(人間認識支援)
日本的センスに基づく方法論の提示	方法論の提示 新サステナビリティー学 調和 人間への負担 計測、再生と修復学	細胞レベルの診断・計測、医学診断分野の認識方法 日本的な空間設定、環境設定、人や自然との関係性 交通発展段階での人間の身体負担の軽減 世界および国内の産地証明、生産ー消費時間の短縮 食品・農産物を捨てない社会技術
将来需要発掘のための贈与型技術移転	技術移転力(贈与) ヒューマニティ	環境・エネルギー、省エネルギー技術 感染症対応技術 生産消費の見える化(トレーサビリティの高度化、フェアトレード) 実態世界の把握(予測能力、対応力を高めるためのデータ蓄積) 大学を通じた研究成果の出口の限界、投入方式の検討 互恵の贈与、共有化、贈与することによるヒューマニティ回復 贈与をきっかけとする競争力獲得、情報のハブ化(日本の魅力向上)

第3章　科学技術課題の設定

科学技術系ナンバー分科会では、まず当該分科会で対象とする範囲を設定し、次いで、今後 30 年間に実現の可能性がある重要な科学技術の検討を行った。結果として、12 分科会で計 837 課題が設定された。

以下、各分科会の検討範囲、要点、及び、概要を示す。

第1節　No.1 分科会：ユビキタス社会に、電子・通信・ナノテクノロジーを生かす

1．検討範囲

No.1 分科会で設定された検討範囲は、以下の通りである。

①コンピューティング、システム系

②通信

基幹系・幹線系、アクセス系、アプリケーション系

③I／O（家電を含む）

ディスプレイ（分子・有機エレクトロニクス）、ヒューマンインタフェース（非接触型／体内埋め込み型）、ブレイン・マシン・インタフェース、ヒューマンサポート（運動・筋力支援／知能支援）、センサ計測（環境／物体／臭い）、センサネットワーク、建築（光・電磁波・音響空間の制御）、キャッシュレス社会

④エネルギー

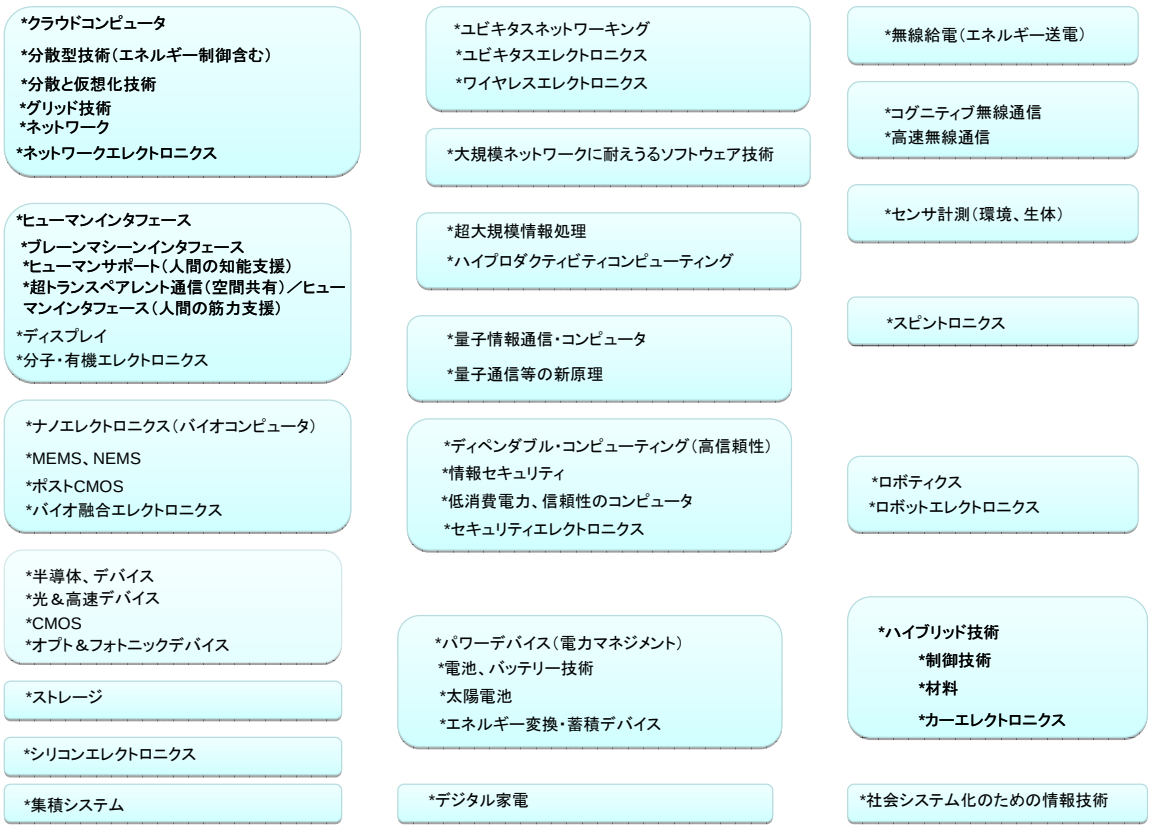
⑤デバイス

シリコン微細化、メモリの極限、自然エネルギーの利用、フレキシブルディスプレイ、光センシング、量子暗号通信、汎用量子コンピューティング、スピン、CNT、生体埋込チップ、生体埋込デバイスの低電圧動作、生命機能を利用したエレクトロニクス、フォトニック結晶、五感通信

⑥メカトロニクス

ハイブリッド技術（カーエレクトロニクス）、ナノエレクトロニクス（バイオコンピューター）／MEMS、NEMS／ポスト CMOS／バイオ融合エレクトロニクス

図表 3-1： No.1 分科会で検討されたキーワード



2. 要点

少子高齢化時代が到来した 21 世紀において、我が国に社会の活性化と安心をもたらすユビキタス情報化社会実現への期待が高まっている。このユビキタス情報化社会を実現するためには、セキュリティ、ヒューマンインタフェース、コンピュータ、ブロードバンド・ワイヤレス技術からエネルギー、先端デバイスまで総合的な技術基盤の開発が必要である。このような総合的技術分野においてわが国の産業界が強い競争力を発揮するためには、適切な事業化戦略と学術に立脚した「不連続な進歩」をもたらす技術開発が重要になる。本分科会では、上記の技術分野の今後を検討するにあたり、以下の小項目に区分して議論を行った。

第 1 の項目である『コンピューティング、システム系』は、本分科会が念頭においているユビキタス社会の実現には必要不可欠な要素である。現在、産業や生活の多くの場面は、コンピュータそしてシステムに依存しており、この傾向は今後ますます強くなっていく。そのためにも、より多くの人にとって使いやすい、そして信頼性・安全性に富むコンピューティングとシステムの実現が望まれる。

第 2 の項目である『通信』では、今後さらに大規模化、高速化、要求の多様化がすすむ情報インフラと大小システムに対応すべく、基幹系、幹線系、アクセス系、アプリケーション系の技術それぞれについて研究開発を推進すべきである。

第 3 の項目である『I/O（家電を含む）』は、エレクトロニクス、化学、材料工学、医療工学、これらの派生技術などの複合分野である。システムあるいはコンピュータ等のシステム構成機器とユーザとの接点を従

来のキーボード等の機械的手段だけに求めず、非接触型インタフェースなどの新機軸の開発と普及により万人にとって使いやすいシステムを実現できる。また、例えば、体内埋め込み型チップなどは、システム自体の進歩にとどまらず、医療・福祉などにも応用可能である。さらに、本項目に属する技術は、複数分野の複合体であるがゆえに関連分野の成熟にも寄与できる。

第4の項目である『エネルギー』は、今後の社会的要求を満たす上で重視しなければならない点である。コンピュータ、その他のネットワーク構成機器の総数の増加、これらの処理能力の向上、ネットワークトラフィックの増加、これに伴うオフィスや各種施設の冷却の必要性は、消費電力の増大を招いており、この傾向は、ともすれば前記のユビキタス化の推進によりさらに加速する可能性もある。さらに日本は、必要電力量の多くを火力発電によってまかなっており、CO_2 排出量の増加と地球温暖化の一要因となっている。これらは、組織・国家の枠組みを越えて全世界規模で取り組むべき課題である。このため、コンピュータ、ネットワーク機器などの低消費電力化技術を確立する必要がある。

第5の項目である『デバイス』は、前記1から4の各項目で必要な要件を満たすための、より具体的な構成要素である。特に低消費電力化の要といえよう。また、当該デバイス技術は、前述の応用性と、関連分野の成熟が期待できる。

第6の項目である『メカトロニクス』は、もともとは機械工学と電気電子工学の融合分野であるが、今後も横断分野はさらに広がっていくと思われる。そして、前記1から5の各項目の属する技術は、メカトロニクスの方法論なくしては実現できないものも多い。

以上、本分科会で取り扱った分野の概略を説明したが、各項目の詳細については、以下を参照されたい。

（荒川　泰彦）

3. 各区分の概要

①コンピューティング、システム系

高度情報化社会が求める高品質なコンピューティングを実現するシステム技術がこの分野で必要とされている。品質に対する具体的な要求は、システムの適用場面に応じて多様に変化するが、基本的な軸として今考えられているのは、高性能・高信頼・低電力の3つである。これらの高品質化を、半導体の集積度向上と高速化、その恩恵をシステムとして享受するためのシステム構築技術、システムがもたらす恩恵をユーザが享受するためのアプリケーション・ソフトウェア技術、および、これらの技術の協調・統合により実現することが、この分野における課題である。

これらの課題を、より具体的に論じると以下のようになろう。まずVLSI内で考えると、多数のプロセッサコアが1つのVLSIチップ上に実装される形態が有望と考えられ、半導体の高集積化・高速化をVLSIとしての性能向上に結び付けるための、スケーラブルなネットワークオンチップ技術、この技術を駆使した階層型システムオンチップが重要な課題である。半導体集積度に頼った高性能化を進めると発熱密度が冷却可能限界をはるかに超えてしまうため、消費電力あたりの処理能力を格段に向上させる必要がある。また、情報化社会の高度化が進み、我々の社会活動が必要とするコンピューティング処理量の飛躍的増大を限られた地球上の資源で実現するためには、ハードウェアシステムとしての高性能化と低消費電力化が求められる。この点では、スーパーコンピュータのさらなる高性能化、基幹ネットワークとバックエンドの基幹コンピュータシステムからなる広域分散処理システムの高性能化と低消費電力化が重要な課題となる。ユーザに近いところでは、ユーザにとっての快適さという品質が求められ、具体的には充電頻度の少ない

携帯端末・PC などの実現も待たれる。また、ユーザを含めた広域分散環境においては、どこでも自由に自身の情報環境にアクセスできるユビキタス環境の実現、さらにはいつどういう機器が接続され利用可能となるかわからない極めてオープンな環境において、システム自身が動的かつ自律的に適応し所望のサービスをユーザに提供可能なシステム構築技術、さらにはその上で最適な実行を可能とするアプリケーション・ソフトウェアの実現が、期待される技術となる。我々の社会がより多くの部分をコンピュータシステムに依存するようになることは疑いようもないが、それに伴ってシステム障害による社会的損失も深刻な問題となってきている。このような状況で、システムの高信頼化の重要性が指摘されており、安全・安心な社会を実現するために、上記で述べたようなシステムの高信頼化に対する技術開発も重要となる。信頼性に関しては、評価指標と評価技術の確立も重要な課題である。性能、電力は万人が納得でき社会が共有する単位が存在するが、信頼性に関しては学術的にはさまざまな指標が提案されているものの、我々にとってわかりやすく社会的な要求と整合性の高い指標はまだ確立されていない。また、信頼性の評価技術があまりに煩雑であるとその評価指標の社会への普及が難しくなるため、ある程度簡便な評価技術の確立も重要である。

上記の議論は、従来技術の延長上で社会が要求する高品質化を実現することを暗黙裡に想定しているが、量子コンピューティング、生体のメカニズムに倣った全く新しいコンピューティング技術、あるいは他の全く新しい機構に基づくコンピューティングの可能性なども常に検討し続けることが、長期的な観点からみた正しい技術展開には必要である。

我々の社会がコンピューティングに期待する品質向上には今後も際限がないことは明らかであり、その期待に応えるコンピューティングを実現する技術の重要性はますます大きくなることを十分認識するべきである。

（岩田　誠、中村　宏）

②通信

ブロードバンド基盤の拡大により、今後ますます、多様で高度な情報通信サービスが提供されるようになり、通信技術は社会・経済活動を支える社会インフラとしてその重要性を増していく。人々はインターネットを介して、テキスト、音声のみならず画像、動画に至るまで大量の情報を日常的にダウンロードして利用しているだけでなく、WEB2.0、ブログ、SNS（Social Networking Service）などにみられるように個々人が情報を大量にアップロードするようになっており、インターネット上を大量の情報が流通するようになっている。情報のやりとりは人どうしで行われるだけなく、物にもICタグのような形で、その属性を表わすデジタル情報が付与され、人と物、さらには物どうしが通信網を介して情報のやりとりを行うようになってくる。また我々の身の回りには多様なセンサが配備され、そこからも環境変化に対応した大量の情報が常時、ネットワーク上にアップロードされていく。このような情況を反映して、通信のトラフィック量は増大する一方であり、情報爆発とも呼ばれるような情況が出現している。経産省グリーンIT イニシアチブ会議の資料によると、日本国内におけるインターネット上の通信トラフィック量は 2006 年から 2025 年にかけて 190 倍に増大すると予想されている。これに伴って、この間にネットワーク機器の電力も最大 13 倍まで増大し、環境問題としても無視できない電力消費量となってくると予想されている。このような大量の情報を効率よく伝送し、配信することを可能とする通信のトランスポート性能の向上、それを実現するネットワーク機器の大幅な省電力化、どのような状況下でも安全にかつ確実に情報を伝達することを可能とするディペンダビリティの向上、さらにはこのような情報通信インフラ上に展開される多様でオープンな利用環境の提供は、今後、ま

すます重要になってくると考えられる。

通信技術の今後の発展を、1)幹線系通信技術、2)アクセス系通信技術、3)センサネットワーク応用技術、4)地球環境配慮型ネットワーク技術に大別して考察する。

幹線系では大量の情報伝送が要求され、通信のより一層の超高速化、波長多重化の追求がなされていくと考えられる。それを実現するデバイス技術の進展と共に、高い周波数利用効率、多値化を実現するQAM(Quadrature Amplitude Modulation:直交振幅変調)などの光信号処理の進展にも期待が集まる。また同時に消費電力を大幅に低減する技術も求められており、光ネットワーク機器の大幅な小型化、省電力化を実現するナノフォトニクス技術が重要になってくるであろう。省電力化の観点からは、電子回路を用いず、光信号をそのまま処理する全光通信技術への期待も高い。全光通信技術実現への追及がなされていくであろう。セキュリティが確保された通信も将来の情報社会における重要な技術要素であり、特定用途向けに量子暗号通信技術が適用されることが期待される。アクセス系では、より広帯域化された光加入者系システムが家庭に入り込んでくると予想され、また無線も第4世代に進化する中で、超広帯域化が進展していくであろう。無線についてはLANや車間通信なども含め、多種多様な通信方式が提供されていくと予想され、利用者がアクセス方式を意識せずにシームレスに通信が享受できるような環境が提供されてくると予想される。また室内、オフィス内、ビル間などでは、大量の情報を伝送する目的で、超広帯域のミリ波通信が利用される場面が増えていくと予想される。

我々の身の回りには多種多様なセンサがネットワーク化された形で配備され、状況に応じて個々人に必要な情報サービスが提供されるようになる。また個々人をセンサネットワークを介して見守る事で、特に社会的弱者(高齢者、子供、女性)に対して安全、安心な環境を提供していくことが可能になると期待される。セキュリティを確保するという意味では秘匿通信や個人認証技術の進展もますます重要になってくると予想される。

今後、温暖化等の環境問題がますます深刻になっていく。そのような中、風力発電や太陽電池、燃料電池などで生成される多様なエネルギーの積極的な利用が進み、マイクログリッドと呼ばれる複雑な電力網が形成されてくると予想される。マイクログリッドにおける効率的な電力供給を実現するためには、電力の局所的な使用状況、供給状況を把握するセンシング技術、それらを結ぶネットワーク通信、さらにはその制御、管理技術が重要になってくると予想される。

(白鳥　則郎、曽根　純一)

③I/O(家電を含む)

電気や水と同様に情報通信なしに、もはや生活することはできない。情報通信技術は、電機や水と異なり、物理的に手にとることができない。それが故に、人間が手にとり、体験できるようにする入出力技術として、一層使いやすいデバイス、ソフトウェア、センサなどの技術が求められている。さらに、インフラストラクチャーとして行き渡ってきたことで、単純なデバイスとしてだけでなく、システムとしての存在価値も増している。

(技術的重要性)

従来は、情報通信分野では、著しい速さで進展する技術をユーザが使いやすくすることに重きがあった。それが、9.11 事件以来の世情の不安定さを反映し、安心・安全に重きが置かれるようになってきた。さらに、現在では、省資源・省エネルギーに視点が移りつつある。

そのような世情を反映して、従来、ユーザの利便性のみに視点があった音声翻訳や検索などのソフ

トウェア技術が、遠隔会議など人間の移動を減少し、省資源に寄与する技術として、重要になってきている。同様に、ディスプレイ技術も、省資源技術として見直され、その重要性を増している。同様に、従来から課題であった電力については、自ら給電するタイプが求められるようになってきている。

また、高齢化に伴って、従来は、寝たきりの高齢者の介護に焦点があたっていたのが、今後は、高齢者を労働力として生かすために、その能力や体力の減衰を、知的にも筋力的にも補足する技術が重要となってきている。そのために、日常生活における健康増進を支援するユビキタスコンピューティング技術、埋め込み型などの人間に負担をかけないナノチップやマイクロチップなどの医療技術、血流などの生体エネルギーを利用して半永久的に動き続け、健康状態のモニターやペースメーカーのような生体機能補助を行うことができる医療チップ、人の運動能力を衰えさせること無く、かつ必要時に運動能力をアシストできるアクチュエータ技術、転倒したり忘れ物をしたりした時の状況を記録し、類似した状況の時に注意を促したり、逆に喜んだりした時の状況を記録し、類似した状況に近い場所に外出を促すアシストネットワークロボット、所有者の声を認識し、体験を記憶し、必要な時に音声メモを再生するポータブルアシストデバイス、ドライバーのヒューマンエラーを発生させない安全な移動システム、脳や神経と直接信号をやりとりするブレイン・マシン・インタフェースなどが重要となってくる。

またさらに将来的には、単細胞や単一分子レベルの生命メカニズムを融合した新機能エレクトロニクス技術や匂いや味のセンシングとディスプレイも重要である。

（社会的重要性）

20 世紀は、インターネットの普及に伴い、情報空間（サイバー空間）での人間同士のコミュニケーションとそこでの情報伝達が発達した。人間が入力した情報が、情報空間でやりとりされていた。

それに対し、21 世紀は、タグやセンサなどに代表されるユビキタスコンピューティング技術、あるいはユビキタスネットワーキング技術が研究され、食品流通の安全性確保という社会ニーズに応える食品トレーサビリティなどで普及してきている。さらに最近では、メタボ対策や高齢化対策など予防医学の側面で、病気になる以前からの健康管理も重要となってきている。つまり、人間が意識して入力する情報だけでなく、無意識の生体情報などを収集し、マイニングすることが重要となってきている。そのために、さらに、生体情報だけでなく、価値観の多様化により、商品価値の判断も多様化し、これを探るための脳計測などの情報収集とマイニングも重要になってきている。

このように、ものの情報や、生体情報など常時収集し、マイニングすることが定常化するのに伴い、消費電力の低減も必須課題となり、使い勝手と、省資源、また、データ収集に伴うプライバシー保護など、複数の要素を満足さえないと、技術の実用化が困難となり、解決すべき課題は複雑化しているため、異なる領域の技術者・研究者が連携しなければならない。また、情報通信システムの社会インフラとしての役割がますます増すために、情報通信分野だけでなく、流通や金融、公共システムなどの社会インフラシステムの専門家との連携も重要になってくる。

このような社会インフラの IT 化は、日本は大きく遅れており、省資源対策の一環として、社会インフラの IT 化に取り組んでいくべきであり、その点でも見えない情報通信や電力などの資源の可視化など I/O 分野の担う役割は非常に大きい。

（将来性）

技術は人間が使ってこそ、生かされる。その意味では、その接点となる I/O 技術も、環境配慮など、観点が変化しても、常に、開発しつづけなければならない。

（土井　美和子）

④エネルギー

最近のインターネットや携帯電話の爆発的普及拡大に伴うエネルギーの消費は年々増加の傾向にある。国内のネットワークは、u-Japanブロードバンド化の推進で100Mbps以上の高速転送インフラストラクチャーが建設されている。さらにそのネットワークインフラをベースにSkypeやYou Tube に代表されるように低価格のIP電話や動画の無料配信するIPTVアプリケーションが提供され、ネットワークは常に大容量コンテンツで充満する場となっている。また、外出時であっても時空間を問わずマルチメディア情報を受信できる環境が構築され、人々は24時間常に情報に囲まれたユビキタス情報通信環境におかれている。これらの情報通信環境の実現には、ノートPCや携帯電話機の情報端末、モバイル基地局やルータ等のネットワーク機器で構成されるが、実際にはそれら情報機器を支える電源供給が課題となる。情報流通が増大すればするほど電力消費も増大し、ICT 分野におけるエネルギー消費問題は無視できない重要なテーマになっている。

家庭内においては人々の快適な暮らしを提供するため、TV や空調設備の大型化、個々の部屋単位の設置、冷蔵庫の大型化等、家庭内民生機器での電力消費も増大傾向にある。また、高齢化社会が進むことにより、より家庭内においても介護、セキュリティおよび無効なエネルギーを監視するロボット等の利用も増大する。さらに、交通運輸の分野では、限定された埋蔵量の石油資源等の化石燃料からの脱却を目指した低価格電気自動車の実用化の推進や、高速自動車道料金の低減化で交通トラフィックの増大化を推進している。これらは全て結果としてエネルギー消費を促進する施策となっている。

近年の地球温暖化に伴う自然環境破壊、動植物の生態系のバランスの乱れによる生命の危機が叫ばれ、CO_2をはじめとする温室効果ガスの排出量制限や、米国新政権による環境事業への投資を重視するグリーンニューディール政策の提唱等、省エネルギー化を実現する環境問題は今や地球規模の最重要課題となっている。その一方で、経済活動を促進するICTの高度化推進やユビキタス環境の拡大等に伴うエネルギー消費は年々増加の傾向にあり、エネルギー問題をめぐる両者相反する取り組みが同時に行われている。自然資源の少ない日本においては、エネルギー問題は近未来の重要課題であり、“安心安全“と同等に官民が取り組むべき国家的課題であり、政策、ビジョンの策定と共に技術開発が必要な領域である。本領域は、省エネルギー対策、エネルギーの長寿命化、新エネルギーの開発等が含まれる。

（技術的重要性）

これまでのICT高度化分野ではユーザの利便性や安心・安全を優先して開発を進めてきたもので、省エネルギー化を重点的に考慮して開発したとは言えないものが多い。しかし、地球の恩恵を受けてライフサイクルを送る人間として、地球を健全な状態に維持する努力は地上の全人類の使命でもある。近未来のエネルギーの状況を鑑み、今後はすべからく省エネルギーを最優先に展開を図ることが肝要である。

下記に挙げた将来の技術目標は、現状の展開では近い将来エネルギー不足が深刻な問題として浮上することが予想されるもので、社会的需要が高く、すべからく2030 年には実現可能性の高いもの、あるいは実現の必要性が高い要求条件である。

これらの技術は、日本のみならず世界各国で必要となる基盤技術であり、同時に世界各国でも同様な取組みならびに知的所有権競争が予想される。このため、研究開発に必要な環境整備を早期に提供することが必要である。これは単に環境問題の解決のみならず、当分野の世界のイニシアチブを取ることは経済活動にも該当し、産業界の支援を進める国の責務でもある。

（社会的重要性）

利便性、快適な暮らしを実現する技術に加え、省エネルギーによる低料金化は、経済性及び地球に優しい技術である点からユーザにとって望ましい。技術の開発途上では製品のコストは高額なものとなるが、現状の設備、装置コストと同等以下に早期に実現されることが要望される。

緊急災害時の場合、ICT機器を屋外で利用するための電源確保が必要である。この場合の電源は、電力線を使うことが困難な場合が多く、長時間情報機器を利用できる二次電池技術の実現、太陽光発電等の再生可能エネルギーを利用した新電池技術の開発が望まれる。

（将来性）

省エネルギーの必要性は将来ますます増大する。従って、利用場面のニーズに適合する技術の開発が重要である。しかも早期に行う必要がある。但し、多くのユーザが共有するためには、少なくともインタフェース部分は標準化を行う必要がある。

（尾内　享裕、松本　充司）

⑤デバイス

【シリコン微細化】

シリコン技術の進歩は微細化に集約されている。またこの技術の進歩によってもたらされた社会構造の変革は、これからも自然との融合を目指して続いていく。

（技術的重要性）

微細化が半導体における高集積化を牽引してきた。この基盤技術としての重要性はこれからも続く。

（社会的重要性）

微細化に伴った高機能・高集積化は、人類にとって重要な多くの新しい社会構造を生み出してきている。

（将来性）

現在 20nm 世代のトランジスタ開発が進んでいる。これを 10nm 以下までの微細化に向けて 1 原子のレベルの制御が始まっている。

【メモリの極限】

1 原子／1 分子が 1 ビットに対応する極限のメモリ／ストレージ。高度情報化社会において飛躍的に増大する情報データを高速に蓄積・検索可能とする。

（技術的重要性）

メモリの大容量化の方向は今後も続くと予想される。

（社会的重要性）

高度情報技術では現在よりもはるかに容量の大きなメモリが熱望されている。

（将来性）

メモリ以外の分野への波及効果も大きく将来性のある技術である。

【自然エネルギーの利用】

熱、光、電波、振動等の自然環境エネルギーを取り込み情報エレクトロニクスに利用する。

（技術的重要性）

エネルギーの効率的利用と情報エレクトロニクス機器の超消費電力化を実現する意味で極めて重要

である。

（社会的重要性）

省エネルギーに大きく貢献する。

（将来性）

この方向は時代の流れであり、将来的にも重要性を増す。

【フレキシブルディスプレイ】

新聞紙を代替できるような柔軟性をもつポータブルな通信機能付き薄膜電子ディスプレイ

（技術的重要性）

単にディスプレイ技術のみでなく超低消費電力通信技術を伴った技術として非常に重要である。

（社会的重要性）

ペーパーレス化を促し資源の有効利用と環境保全を促す。

（将来性）

ディスプレイ技術は人と情報技術とのインタフェースであり、重要性はますます高まる。

【光センシング】

1THz～10THz の電磁波帯を有効利用するためのフォトニックセンシングデバイス

（技術的重要性）

これまで困難なセンシングを可能とする意味で技術的意義が大きい。

（技術の社会的重要性）

未開発の電磁波帯の利用により、通信からセキュリティまで広範囲の新しい応用技術を社会に提供する。

（将来性）

該当技術の発展によりさらに新しいアプリケーションが生まれると期待される。

【量子暗号通信】

従来の古典共通鍵暗号システムとは異なる、量子力学を動作原理とする暗号システムで、盗聴に非常に強いという特徴を有する。

（技術的重要性）

単一光子発生器や超高感度光検出器技術の開発など、単に従来技術の延長では解決できない重要な技術開発を必要とする。

（社会的重要性）

通常のインターネット通信や特殊用途(軍事あるいは高度な政府内)通信で、より高度なセキュリティ技術が求められている。

（将来性）

鍵生成速度と伝送距離に関しては、1Mb/s の速さで 100km の到達距離が実験線で実現されるであろう。

【汎用量子コンピューティング】

古典力学とは異なる概念の量子力学を動作原理とするコンピュータで、素因数分解(暗号解読)や情報

検索など、まだ極限られた用途ではあるが、従来コンピュータでは解けない問題を解く能力を持つ。

（技術的重要性）

長いコヒーレンス時間を保つための技術、複数の量子ビット間の量子もつれを実現する技術、単一回読み出し技術など、全てが高度に革新的な重要技術の塊である。

（社会的重要性）

本当の意味での量子シミュレーション、巨大なデータ処理（たとえば、非常にローカルだが精度抜群の天気予報、や全国の物流状況）、深宇宙通信、などの用途が期待される。

（将来性）

ここ数年で、10 量子ビット程度の動作が期待できる。

【スピン】

巨大磁気抵抗効果を用いたハードディスクなどは既に実用化されており、MRAM としてメモリ素子への展開もはかられている。しかし、使われるスピンの数はまだ一万のオーダーで、これをいかに減らしていくかが大きな課題。

（技術的重要性）

メモリや演算素子の高速化とともに、省エネルギー化、高密度化の要請は強く、少数スピンあるいは単独スピンで動くシステムの開発は非常に重要である。

（社会的重要性）

上記と同様に、特にエネルギー消費の小さいデバイスは、人類の未来にとって必須の技術である。

（将来性）

10 年で、数個のスピンで動作するデバイス開発が可能となるであろう。

【CNT】

CNT は自己組織的な製造技術と、全く新たな性能を実現した物質で、多岐に渡った実用化が進んでいる。

（技術的重要性）

技術の新たな幕開けを先導した技術といえる。

（社会的重要性）

応用範囲の可能性の広さは新たな事業創生につながっている。

（将来性）

多くの可能性を秘めており、まだ探求が続くと思われる。

【生体埋込チップ】

失われた機能の回復、また日常生活を充実して過ごすための人体機能の生成は長く熱望されている。

（技術的重要性）

人体に埋め込んで長期的に機能するチップの製造には多くの技術が要求されている。

（社会的重要性）

人類が充実した生活を送るために大きく貢献する。

（将来性）

様々の要素技術が要求されるので、将来に渡って多くの技術の発展を促す。

【生体埋込デバイスの低電圧動作】

人工網膜のように、シリコン技術の進歩によって生体への融合が実現しつつある。

（技術的重要性）

生体で伝搬する電気信号を電気的に中継するチップの開発には欠かせない技術である。

（社会的重要性）

集積回路の極低電圧動作は、生体との融合のみならず地球温暖化等の社会問題に対しても重要な技術である。

（将来性）

将来に渡っても重要であり続ける微細化技術にあいまって要求される重要な技術である。

【生体機能を利用したエレクトロニクス】

人体が生成する体温や振動を電気エネルギーに変えることによって、永続的な機能が実現できる。

（技術的重要性）

回路の生体との融合をスムーズに実現するための鍵を握る技術となる。

（社会的重要性）

人類の可能性を広げるチャレンジングな技術で、この実現によって多くの可能性を広げる。

（将来性）

多くの分野で拡張、発展していく技術となる。

【フォトニック結晶】

電子デバイスは、メタル配線を通して電気情報を伝搬させている。電子に代わって光を媒体として使うことによって、より高速な情報伝搬が可能になる。

（技術的重要性）

光は直進する性質を持つので、進路を自由自在に変えることが技術的ブレークスルーをなる。これには1原子層レベルの結晶化制御が要求され、結晶化技術を牽引する。

（社会的重要性）

光をキャリアと同じように制御できるようになると、通信システムを大きく変えることができる。

（将来性）

高精度な結晶化技術はすべての分野で要求されている。これを牽引していく意義は大きい。

【五感通信】

ユビキタス社会では数字による情報伝達に留まらず、人間の感情を伝える機能が望まれる。その先駆けとして五感の認識・通信が挙げられる。

（技術的重要性）

人間に優しいヒューマンインタフェースはこれからの技術を有効に利用していくための基本となる。このための人間工学の重要な一歩として位置づけられる。

（社会的重要性）

高齢化社会が進む中で、円滑に且つ負担の少ない高度技術社会を実現するための鍵を握る。

（将来性）

将来的にはマン・マシーンの融合化を促進し、ユビキタス時代を牽引していくことになる。

（高柳　英明、三浦　道子）

⑥メカトロニクス

【ハイブリッド技術（カーエレクトロニクス）】

地球環境への対応として自動車には化石燃料に替わるエネルギーの使用や CO_2 排出量の削減が必要であり、これらを実現するための技術開発が求められている。すでに現在でも一部の車両に導入され始めたがすべての車両に展開するためにはさらなる技術の革新が急務である。

（技術的重要性）

化石燃料、太陽エネルギー、風力、電気、熱等の様々なエネルギーはそれぞれ独立して限定された用途で自動車に使用されているが、これらのエネルギーを最適な状態で組み合わせて移動体の原動機を動かすメカトロニクス技術、ハイブリッド技術の開発が必要である。

（社会的重要性）

自動車を中心とした移動体は今後も社会の中でもっとも効率的で有効な移動手段であり、これらが機能するためには上記の技術の導入が必要である。

（将来性）

基本的には化石燃料からのエネルギー変換は電気エネルギーを媒体とした変換になると考えられるが、これらの技術は今後も発展する可能性が高く有望である。

【ITS 関連技術（カーエレクトロニクス）】

交通事故撲滅をめざして安全関連の技術開発は従来より進められているが、今後の高齢化によるヒューマンエラーの増加等交通環境はより厳しい環境となっていく方向にある。自立型、インフラ協調型の両者を含めて安全性向上の技術開発が急務である。また、地球環境対応のためにも CO_2 の発生を最小限にできる ITS 技術を用いた交通流の最適化技術の開発が必要である。

（技術的重要性）

現在の自動車は最終的にはドライバーの運転能力に依存しており、交通事故撲滅のためにはヒューマンエラーを補うシステムの導入が必要である。また、交通流を安定化して CO_2 を削減するためにはドライバー個々の判断だけではなく周辺状況も踏まえた運転計画が必要であり、これらを実現するために ITS 技術の開発が不可欠である。

（社会的重要性）

自動車を中心とした移動体は今後も社会の中でもっとも効率的で有効な移動手段であり、これらが機能するためには上記の技術の導入が必要である。また、自動車側だけでなくインフラ側の開発も不可欠であり、両者の連携が重要である。

（将来性）

これらの分野の技術開発を実現するためには通信技術、半導体技術、制御技術等の組み合わせが必要であり、個々の技術は技術革新の早い分野であり将来の発展が期待できる。

【ロボット技術】

ロボット技術は既に多くの分野に応用されているが、今後より複雑な環境に対応できるロボットや人の生活、行動を支援するロボットの需要は増加すると思われる。

（技術的重要性）

従来、人が行っている作業や行動を機械で実現するためにはロボット技術に代表される認知、判断機能を持った高度な制御技術が必要であり、これらの技術開発のさらなる発展が重要である。

（社会的重要性）

今後の高齢化社会において自立支援や、介護支援の要求がさらに増大する。それらを解決する手段の一つとしてロボット技術を導入した製品の導入が有効である。また、生産工程や農作業等、人に代わって複雑な環境に対応できるロボットの需要も増すと考えられる。

（将来性）

ロボット技術はあらゆる技術の集大成であり将来的に不可欠な領域である。

【MEMS/NEMS】

最新の半導体技術では、0.1μm以下の寸法のトランジスタが一千万も組み合わさった集積回路を作っている。この微細加工技術を利用し、nm級の超微細立体構造や、数十μmの超小型機械やモータがシリコン基板の上に製作できる。加えて、精密機械加工やプラスチック成形なども活用し、ミクロの世界の機械（MEMS: micro electromechanical systems, NEMS: nano electromechanical systems）を実現する。MEMS/NEMS の応用は、自動車用など各種センサから光通信や IT 技術、バイオ技術に至るまで広範囲に渡っている。例えば、エアバック始動用のセンサやインクジェットプリンタのヘッド、TV ゲームや携帯電話のユーザインタフェース用センサなどが、私たちの身の回りで使用されている。

（技術的重要性）

MEMS 技術は微小な機械構造だけでなく、超小型で高感度のセンサ、電子回路など様々の要素を一体集積したチップを実現する技術である。これまでのIT 技術が得意とした、情報の処理、通信、高精細の表示などの機能に加えて、現実社会の情報を取得したりそこに働きかけたりする機能を実現できる。MEMS センサは視覚や聴覚だけでなく、加速度のような運動感覚、臭覚や味覚（化学組成）、触覚などにかかわるデバイスで、機械が外界の情報を自動的に把握することを可能にする。また可動構造は、多数の微小ミラーを動かして画像を投影したり、マイクロポンプや弁を動かして芳香を放出したり、外界に様々の作用を及ぼして人を助けることができる。

（社会的重要性）

センサを用いた自動車の安全性向上や食品安全の「その場」検査に象徴される「安心・安全」への貢献、マイクロマシンによる低侵襲の手術や微量血液検査など「医療・福祉」への貢献、マイクロ化学分析チップによる広域の環境監視など「環境」への貢献など、これからの社会の主要な問題に対してデバイスレベルからのソリューションを提供する技術である。

（将来性）

これから実用化が進展すると期待されるのは、センサ、無線通信、光、流体、超小型電源などの分野である。センサは、自動車（高度交通システム）、TV ゲーム、情報家電、ロボット、防犯・防災システム、医療機器、環境監視システムなどが、外界の情報を自動的に取得し、それに基づき人間と交流するために必要不可欠である。MEMS 技術はセンサの小型化、性能・機能向上、測れる情報の多様化、コスト削減に貢献する。MEMS 応用センサの測定対象は、圧力や加速度のような機械量から、画像、

ガス組成、溶液の化学分析、バイオデータに至るまで多岐にわたる。光通信ネットワーク用のデバイスに加え、ディスプレイやデータ記録装置、各種光センサも早期の実用化が期待できる。通信の分野では、RF- MEMS（無線通信用 MEMS）が注目されており、携帯式の電話や情報端末などの無線通信機器に MEMS を応用し、マイクロフォン、超高周波用の振動子、可変波長トランシーバー用スイッチなどを回路と一括で作る研究が行われている。また、各種 MEMS センサと無線通信回路を小さなチップに収めたデバイスを、多数配置することにより、無線センサネットワークを構成できる。マイクロ流体システムは、環境監視や食品安全検査用の微量化学分析装置、微量血液分析装置、MEMS 応用能動カテーテル、血管内壁の光コヒーレント断層顕微撮影用内視鏡、再生医学に向けた細胞培養装置、に利用できる。

【ポスト CMOS/バイオ・ナノ融合エレクトロニクス】

情報化社会の進展を支えてきたのは、集積回路のたゆみない性能向上であるが、集積回路の進歩は加工技術の進歩による微細化であった。しかし、微細化が極限まで進んだ現在、その限界を超えるため新たなアプローチ（ポスト CMOS）が試みられている。ポスト CMOS には、カーボンナノチューブやグラフェンなどのナノ材料を取り込み微細化を促進する方向と、演算機能以外にセンサ、RF 通信、電源、アクチュエータなどの異機能集積を目指す方向がある。

（技術的重要性）

異機能集積ポスト CMOS 技術の特徴は、様々の機能をチップ上に実現できる点にある。電子回路を用いた情報処理・通信機能、センサを用いた情報取得機能、化合物半導体や平面光導波路を用いた光学機能、マイクロアクチュエータを用いた運動機能、マイクロ流体素子を用いたバイオ・化学機能、ナノ材料をもちいた量子機能、などを小さなチップ内に集積できる。

一方、ナノ構造を構成要素として、それを設計通りに組み合わせて工学システムを組み上げる場合には、半導体技術などトップダウン法であらかじめ構築しておいた大局的システム構造の中に、バイオやナノテクのボトムアップ法により製作した数 nm の要素を組み込むことが有望である。この融合的手法を用いることで各構成要素の微細化が可能となる一方、システム全体の構造については我々の望むとおりの形を自由に作り込むことができる。

（社会的重要性）

これからのユビキタス情報社会は、いつでもどこでも人を煩わせずに情報提供やデータ取得を行う、いわば自然界に対応する「情報界」を形成する方向に向かう。人間との関わり合いという視点で、小さく、多機能で、安価で、大量生産のできるデバイスは、こうした社会にとっての基幹部品であり、その中核に位置するのがポスト CMOS 技術である。

（将来性）

上記に述べたように、将来のユビキタス情報社会の実現に、不可欠であり、大きな将来性がある。

（加藤　喜昭、藤田　博之）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
コンピューティング、システム系	1	半導体の高集積化の恩恵をスケーラブルに享受可能なネットワークオンチップを駆使した階層型システムオンチップ
	2	ネットワークで接続されるコンピュータシステムが、ネットワーク管理者を必要とせずに、システム内部や外部の動作状況と環境状態に動的に適応し、所望のサービスを高信頼に提供できるシステム
	3	実行環境（OS、利用可能な機器と能力、ネットワーク環境等）に自動的に適応し、所望のサービスを実現するソフトウェアを最適な方法で提供できるポータビリティ技術
	4	高度情報化社会が必要とする飛躍的な計算能力を実現するスーパーコンピューティング技術
	5	ゲート長 3nm のトランジスタ等を用いて、数千個オーダーのプロセッサコアを集積して、消費電力あたりの処理能力を現在より3桁以上向上させる技術
	6	1 週間以上無充電で動作可能な携帯 PC の実現
	7	多様なユビキタスサービスをサポートするために、RFID 等からの信号を弁別して受信し、現在位置の環境を収集できるユビキタス環境スキャナー技術
	8	いつでもどこでも自身の情報環境に安全に自由にアクセスできる社会インフラとしてのユビキタス環境の実現
	9	高度情報化社会において飛躍的に増大するユーザからのリクエストサービスを、画期的に低消費電力かつ高スループットで提供可能な広域分散処理技術と仮想化技術
	10	ユーザに直感的でわかり易いエレクトロニクスシステムの信頼性指標とその信頼性評価技術の確立
	11	生物や生体の多様なメカニズムを模倣した高機能コンピューティング・ネットワーキング技術
	12	様々なアルゴリズムに適用可能な汎用性のある量子コンピューティング
	13	セキュアな情報化世界を実現する実用的な量子暗号の確立
通信	14	超 100Gbpsの大容量通信が可能になる
	15	ナノフォトニック技術などにより、消費電力が1/1000 に低減されたネットワークノードが実現される
	16	都市圏内で、特定用途向けに量子暗号通信が実用化される
	17	10Gbps 光加入者系システムが家庭に入ってくる
	18	10Gbps 以上の室内、オフィス内、ビル間のミリ波通信が可能になる
	19	複数の無線情報端末同士が相互に直接接続され、マルチホップで情報伝達を行なう通信技術が実用化される
	20	多種多様な通信方式の差異を隠蔽し、利用者にアクセス方式を意識させないで利用可能なシームレス通信が可能になる。これにより家庭内で放送、通信、家電機器間のシームレスな情報流通や、屋外で車／車間、車／センター間の交通の情報流通が可能になる
	21	発信者の位置や周囲の情報・状況が瞬時に伝えられ、その人にあったサービスの提供が可能になる
	22	多数のセンサーが生活空間に配置され、実用的なセキュリティを保証しながら、情報をリアルタイムに伝送し、人の活動を強力に支援するセンサネットワークが可能になる
	23	地域住民通信ネットワークが配備されることで、画像センサ（カメラ）からの地域映像情報が住民に提供され、弱者（高齢者、子供、女性）見守り支援、不審者発見などのサービスが可能になる
	24	温暖化などの地球環境への配慮から、消費電力を抑えつつ効果的な運用を実現するネットワーク通信・制御・管理技術や、通信により電力供給を最適化するマイクログリッド技術が実用化される
	25	電波による盗聴・盗撮の検出、電波干渉の回避、無線通信のセキュリティ担保が可能になり、無線通信が安心して使えるようになる

区分	番号	科学技術課題
	26	無線帯域を有効に活用する技術（未使用帯域の検出、帯域アグリゲーション、干渉回避、通信方式の決定などの自動化・自律化コグニティブ無線が実用化される
	27	利用端末や接続方式に関わらず、限られたメンバ同士を必要に応じて動的に接続するネットワークの構築・運用技術
	28	多数の移動する無線ネットワーク（バス、電車、新幹線、飛行機、船等）を管理するネットワーク制御、運用技術が可能になる
I/O（家電を含む）	29	新聞紙を代替できるような柔軟性(薄く柔らかい)をもつポータブルな電子ディスプレイ
	30	所有者の声を認識し、体験を記憶し、必要な時に音声メモを再生するポータブルアシストデバイス
	31	人体に埋め込まれ、体温や血流などの生体エネルギーを利用して半永久的に動き続け、健康状態のモニターやペースメーカーのような生体機能補助を行うことができる医療チップ
	32	外部から通信・制御可能で、体の中に埋め込まれたり、あるいは血管の中を移動できるナノチップやマイクロセンサーを用いた医療技術
	33	脳や神経と直接信号をやりとりするブレイン・マシン・インターフェース
	34	商品評価時にモニターの本音を簡易に計測できる非侵襲軽量の脳活動計測装置
	35	人の運動能力を衰えさせること無く、かつ必要時に運動能力をアシストできるアクチュエータ技術
	36	転倒したり忘れ物をしたりした時の状況を記録し、類似した状況の時に注意を促したり、逆に喜んだりした時の状況を記録し、類似した状況に近い場所に外出を促すアシストネットワークロボット
	37	問題毎に適切な専門家を集めて自動翻訳で含めて議論ができる遠隔会議支援
	38	ドライバーのヒューマンエラーを発生させない安全な移動システム、
	39	メディア・言語を横断して検索を行うシステム
	40	自己給電型無線通信センサ
	41	単細胞や単一分子レベルの生命メカニズムを融合した新機能エレクトロニクス技術
	42	匂いや味のセンシングとディスプレイ
	43	日常生活における健康増進を支援するユビキタスコンピューティング技術
	44	通信、センサ、ディスプレイ、照明、空調、音響、給電などの機能を持った壁や敷物、天井に使えるパネル
エネルギー	45	オール電化住宅で消費する電力量の約 90%を太陽光電池と二次電池の組み合わせ電源で安定的に供給可能な 100 万円以下の家庭用電力貯蔵用二次電池技術
	46	一充電で、現行ガソリン自動車と同等の航続距離（約 500km）が走行可能な電気自動車を実現する高いエネルギー密度を有する長寿命・高信頼性の自動車用二次電池技術
	47	シリコンや GaAs を用いた太陽電池を凌駕するエネルギー変換効率60%以上の新材料
	48	大部分のモバイル機器（PC、携帯電話、PDA 等）の電源が燃料電池に置き換わる
	49	振動からエネルギーをもらい半永久的に動作する LSI
	50	熱からエネルギーをもらい半永久的に動作する LSI
	51	無線により給電されるモバイル機器（PC、携帯電話、PDA 等）
	52	パブリックな駐車場、道路交差点での駐停車時に電気自動車、ハイブリッド自動車に短時間に充電する非接触充電インフラ技術
	53	電気自動車、ハイブリッド自動車の走行時に常時給電可能なインフラ技術
	54	パワー密度100W/cc 以上を実現する SiC、GaN 等の新材料デバイス
	55	スマートグリッド技術により電力効率向上させ日本の発電量が20%削減
デバイス	56	単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスの性能を凌駕する情報素子
	57	トップダウン技術とボトムアップ技術の融合により分子、CNT、極微粒子などナノ機能要素を大規模システム化する技術

区分	番号	科学技術課題
	58	超低電圧(10mV オーダー)で動作し、人体にも優しい高信頼性のバイオ融合有機デバイス・DNAデバイス
	59	1THz～10THz の電磁波帯を有効利用するためのフォトニックセンシングデバイス
	60	セキュリティ向上に向けた量子暗号通信のために On-demand で単一光子を発生できる新デバイス
	61	高度情報化社会において飛躍的に増大する情報データを高速に蓄積・検索可能な 1 原子／1 分子が 1 ビットに対応するストレージ
メカトロニクス	62	化石燃料、太陽エネルギー、風力、電気、空気、熱等の様々なエネルギーを変換し、移動体の原動機（アクチェータ）を動かし、かつCO_2を発生させないメカトロニクス技術、ハイブリッド制御技術
	63	目的地を入力すると自動運転で目的地に到達できるシステム
	64	車－車間通信システムを活用した出会い頭などの事故を確実に防止できるシステム（車両、インフラ両方含めて）
	65	車－車間、車－基地局通信において、高速（100Mbps 以上）、リアルタイムかつ通信途絶がなく万が一フェイル状態が発生してもバックアップ機能を持った信頼性の高い通信技術
	66	自動車内に各種センサが配備され、故障を予知し、事故をおこさないシステム
	67	人の生活、行動を支援するロボット（介護：食事介助、入浴介助、排泄介助、家事：掃除、洗濯、炊事、買い物、ゴミ捨て、生ゴミ粉砕等）が社会に普及する
	68	生産工程や農作業等、複雑な環境に対応できる判断機能を持ったロボット （工場の無人化…微細加工、精密加工、組立て、危険作業、農作業）
	69	ナノ機能要素（CNT、グラフェン、分子、極微粒子など）を集積化したエレクトロニクス
	70	生体分子モータを模倣し、分子の力で動く極微アクチュエータ
	71	自己組織化で作製されたナノ機械システム

第2節　No.2 分科会：情報処理技術をメディアやコンテンツまで拡大して議論

1．検討範囲

No.2 分科会で設定された検討範囲は、以下の通りである。

①クラウドコンピューティング
　1億台以上のコンピュータを一体として管理し、データベース、アプリケーションにアクセスできる情報の取り扱い。
②情報通信新原理
　従来の情報通信技術の限界を打破する技術；ムーア則の先を行く技術、今のネットワークとは異なる市場を見出す技術。アドレスに頼らず発信者が意図するあて先を認識して情報を伝達する技術。
③空間共有通信
　ネットワークで接続された相互が、同一の空間に存在するような認識を持てる通信環境
④情報の社会化
　世界的食品のトレーサビルティー、患者のカルテ情報の医療機関による共有、住居の近くに設置したセンサの情報共有など、散在する情報を幅広く安全に収集し、適切なサービスを受けられるようにする。
⑤多文化交流
　言語、文化の差を越えて相互が理解できるような、人と人、人と機械のコミュニケーション
⑥知能支援
　文書情報、画像情報、個人の頭の中の情報を広く収集し、個人が自分の頭脳の一部であるかのように知識として活用する。
⑦運動支援
　人間の運動能力を支援する機械とそれを自分の身体の一部のように操作するインタフェース
⑧情報の適切性の確保
　情報の発信者、内容を認識し、ネット上で扱われる情報を適切化する。
⑨ユビキタスネットワーキング
　世界で 1000 億以上の高性能コンピュータを有機的に結合し、価値を創造する。
⑩超大規模ソフトウェア
　1 億行以上のコードを有するソフトウェアを安定に構築し、動作させる技術。
⑪コンテンツサービス
　コンテンツ産業のサービスサイエンス、サービス産業の知能化、制度設計のためのシミュレーション技術、コンテンツエリア
⑫その他境界・融合・新興領域

2．要点

(1) 本分野全体の特徴

エレクトロニクス技術とそれを活用した情報通信技術は 1960 年頃から急速に進展している。1960 年以

後の 50 年ほどの間に情報技術のコストパフォーマンスを大幅に向上し、半導体技術のコストパフォーマンスは 1 億倍のオーダーで改善した。この技術は価値を生み出し、社会を変革し、生活を変化し、グローバル化を促進した。今後、この技術をさらに発展させることが、世界の先進地域が先進地域として残ることの条件となっている。国家の発展形態が工業発展から情報発展に進むというシナリオは過去のものとなり、発展途上国がいきなり情報先進国として、最先端国家になる可能性も指摘され、部分的に現実の事象になりはじめている。またすべての科学技術は情報通信技術を重要な手段として進展している。

従来からの技術予測調査でも、すべての技術分野の課題に情報通信技術を活用した技術進展が予測されて来た。そのような課題の中には社会の現実の要求を反映したものもあり、理解しやすいものもある。同時に情報通信技術分野では技術の市場規模が成功の要因として重要になっている。世界の人口を超える需要がなければ成り立たない技術開発を目指した競争が現実になっている。単一の効用で充分な市場規模を満足できないことも通常である。幅広い活用分野を想定した共通技術としての予測が重要である。

(2)ハードウェア、ソフトウェアの大規模化

情報通信技術の発展はハードウェアおよびソフトウェアの量的拡大を伴って発展している。ユビキタスコンピューティングの分野では近い将来に現在の世界人口の 100 倍の数の高性能コンピュータが使われるようになると考えられている。プロセッサの複雑化と高機能化は継続的に進展しており、多数のコンピュータを管理することが求められている。このような技術としてクラウドコンピューティングと呼ばれる技術が注目されている。この用語は多様な意味で解釈されているが、ハードウェアの複雑化、数の増大を扱うことができる技術をさす意味で重要である。

ハードウェアの発展は同一の設計の繰り返しによる大量生産の技術として産業的に発展するが、これに伴うソフトウェアの複雑化については、開発ごとに多くの努力が求められる。ソフトウェアの複雑化への対処は単一の技術で解決することはなく、様々な技術要素の他、人材のグローバル化の促進など、技術研究以外の対策の整備が不可欠である。

(3)バーチャルワールドによるリアルワールドの支援

コンピュータの発展によってコンピュータは多くのデータを処理し、その結果を外部に提示してきた。その際のボトルネックは外部からの情報をコンピュータ内部のデータとして取り入れるプロセスがある。このプロセスが不充分であれば、リアルワールドとは異なるバーチャルワールドが出現し、リアルワールドの支援に限界が生ずる。リアルワールドにおける運動の支援、知能の支援、あるいは遠方に離れた空間を一体化するようなネットワーク技術は、多様な技術分野から求められるが、バーチャルワールドをリアルワールドに近づける技術を基礎として進展しよう。

(4)e サイエンスと情報の社会化

今まで相互に関連が認められなかった多様で、多数のリアルワールドのデータをコンピュータに集め、これを分析することによって従来知られていなかった学術上の事実が発見される事例が注目され、e サイエンスと呼ばれる手法になっている。これは多様な分野のサイエンスを発展させている。産業的利用では、従来から期待されているが、データの収集と分析のコスト的制約で実現しなかった、ビジネス上の情報の収集分析も進んでいる。このようなデータの中には個人に関するデータから抽出されたものもある。このようなデータの活用は従来から小規模には行われていたが、情報技術の発展により、大規模な利用が低コ

スト化することによって広がっている。

自分の個人情報をネット上で利用できるようにすることの可否についての受容性は、情報技術を日常的にどのように扱っているかによって個人的に大きな差がある。技術の変化によって人間の生活、社会、価値観が大幅に変化した例は歴史上多くみられるが、情報技術の社会に対する浸透もそうした変化を生んでいる。学齢期前からコンピュータ、ゲーム機などに親しんで来た世代の人々には Digital Native と呼ばれる。現在では 30 歳以前の人が多い Digital Native とそれより高年齢の Digital Naïve と呼ばれる人々の間の価値観のギャップが多くの問題を生んでいる。日本の個人情報保護法は充分配慮して作られた法律であるが、高年齢層の人々による過剰反応により、情報の社会化技術の発展には委縮現象が顕著であり、国際競争力での問題を生じている。この分野の技術の実現時期の予測は委縮現象が社会でどのように作用しているかが、国ごとに異なることが大きく作用すると考えられる。

(5)No.2 分科会の課題

このような理解に立って、No.2 分科会では、情報処理技術をメディアやコンテンツまで拡大し、2040 年までを見据えた科学技術課題についての議論を行った。

本分科会の検討範囲として、11 の区分(キーワード)があげられた。以下、11 の区分(キーワード)を説明する。

「クラウドコンピューティング(超分散スケアラブルコンピューティング)」は、1 億台以上のコンピュータを一体として管理し、データベース、アプリケーションにアクセスできる情報を取り扱うことによって、何ができるようになるか、またそのための科学技術を議論し、課題を設定した。「情報通信新原理」では、従来の情報通信技術の限界を打破する技術を想定し、主にムーア則の先を行く技術、今のネットワークとは異なる市場を見出す技術、アドレスに頼らず発信者が意図するあて先を認識して情報を伝達する技術が考えられる。「空間共有通信」は、ネットワークで接続された相互が、同一の空間に存在するような認識を持てる通信環境を実現する技術で構成される。「情報の社会化」は、世界的食品のトレーサビルティー、患者のカルテ情報の医療機関による共有、住居の近くに設置したセンサの情報共有など、散在する情報を幅広く安全に収集し、適切なサービスを受けられるようにするための科学技術、情報の伝達・蓄積システムに係るエネルギー量の低減を目指したグリーン ICT 等があげられる。「多文化交流」では、言語、文化の差を越えて、相互が理解できるような、人と人、人と機械のコミュニケーションに関する科学技術課題を扱う。「知能支援」では、文書情報、画像情報、個人の頭の中の情報を広く収集し、個人が自分の頭脳の一部であるかのように知識として活用する。「運動支援」は、人間の運動能力を支援する機械と、それを自分の身体の一部のように操作するインタフェースで構成される。「情報の適切性の確保」では、情報の発信者、内容を認識し、ネット上で扱われる情報を適切化するための科学技術を扱う。「ユビキタスネットワーキング」は、世界で 1000 億以上の高性能コンピュータを有機的に結合し、価値を創造するために必要な科学技術を取り上げた。「超大規模ソフトウェア」では、1 億行以上のコードを有するソフトウェアを安定に構築し、動作させる技術を取り上げ、またソフトウェア産業の 7K を改善するためのソフトウェア技術等も検討した。「コンテンツサービス」は、コンテンツ産業のサービスサイエンス、サービス産業の知能化、制度設計のためのシミュレーション技術、コンテンツエリアからなる。

また、11 のキーワードに加えて、本分科会が検討すべき範囲における新興領域または他分野との融合・境界領域の科学技術課題を検討するため、その他の境界・融合・新興領域とするキーワードを設けた。

本分科会では、これら 12 のキーワードを実現するために重要な科学技術課題を議論し、その結果、78

の科学技術課題（新規課題＝61 課題、継続修正課題＝17 課題）を設定した。なかでも、「クラウドコンピューティング（超分散スケアラブルコンピューティング）」、「多文化交流」、「情報の適切性の確保」、「超大規模ソフトウェア」、「コンテンツサービス」のキーワードを構成する科学技術課題は、いずれも新規課題で構成される。

（6）技術発展の継続

過去 50 年間の情報通信技術の発展はエレクトロニクスにおけるムーアの法則に支えられて来た。ムーアの法則は多くの技術的困難を解決しつつ 50 年間継続してきたが、これを継続するための困難も多様化してきている。困難は半導体技術そのものにも、エレクトロニクスによるエネルギー消費にも存在するが、これらは過去にも解決された問題である。しかし高品質製品の世界的な普及による市場の飽和、ソフトウェアの大規模化を支える産業のグローバル化など対応には国の枠を越えた努力が必要になる問題も多い。情報通信技術の発展の継続のためには科学技術政策のみならず、国家の発展政策全体の再整理が求められることになろう。

（7）イノベーション政策

現在世界を覆っている不況色の中で、これを打破する鍵をイノベーションに求める考えが世界的に広がっている。イノベーションによって産業が発展した例は特に情報通信の分野では多くの事例があり、競争力に貢献している。イノベーションは個々の産業ごとに見れば多くの事例で、新しい技術が過去の技術に置き換わって行くプロセスとして理解されている。そのビジネスが新たに開始されるベンチャビジネスであれば自社の中に過去の滅亡する技術が存在しない状況で新技術を推進でき先行しやすい。伝統を持つ大企業ではイノベーションが後追い型になるというのは多く知られたことである。イノベーションが社会のレベルで行われるときには、過去の価値観に基づく法制度が障害になることも顕在化している。イノベーションを国のレベルで考えればこうした技術開発に留まらない政策を総合的に考え、広めて行く努力が不可欠である。イノベーションの成否はこうした総合的施策によるものであり、技術開発に伴う様々な施策で予測調査の実現時期も大きな影響を受けよう。

また特に情報通信技術では開発のスピードと規模の拡大により、一国主義では成功が困難な場面が一般的である。大規模なソフトウェアを必要とする多くの技術におけるイノベーションを指向した研究開発では、当初からオフショア開発を含め国際的に開発を実行し、先行市場を開発国以外に求め、次第に全世界に広げる戦略は当然のこととなっている。この際、商品を国ごとに適応化することは最小限とし、同一の商品を国際展開することが競争のためにも望ましい。競争相手も当然そうした大きな市場での事業を求めており、そこには国の意識は小さい。日本の市場は世界の 10 分の 1 であると言われた時代もあるが、情報通信を中心として世界の発展により、比率としての日本の市場は縮小している。情報通信のイノベーションの立場からすれば日本で成功してそれをもって海外に出るというシナリオは成立困難である。情報通信分野のイノベーション政策ではグローバルビジョンに基づく思考が不可欠である。イノベーションのあり方として、一国主義に代わる競争のフレームワークの見直しが必要である。

（8）より良い社会の実現に向けて

科学技術はより良い社会を形成し、人々の満足感を高めるために有効に作用し、その効用を高める不断の努力をしなければならない。

よく知られたマズロー（A.H.Maslow）の欲求段階モデルでは人の欲求を低位の欲求から順に、生理的

欲求、安全欲求、親和欲求、自我の欲求、自己実現欲求に段階化し、低位の欲求が満足されると上位の欲求が生じてくると述べており、心理学の基礎的常識となっている。この欲求段階モデルは科学的根拠は充分とは言えないとされているが、納得性のある説明をする手段として有力である。社会の状況によって生ずる安全、安心のようなレベルでの一般的要求を理解する上では参考になろう。

情報通信技術における近年の発展は技術の進化によってそれまで組織でしか使えなかった高性能コンピュータに代表される高性能の機械をすべての個人が所有し、日常に役立てるような変化を実現してきた。そのような変化が生ずる数年前には多くの専門家が技術的には可能でもそのような製品を受け入れる市場はないから実現しないと予想していたケースも少なくない。予測の時点で多くの予測調査が否定しても、数年後にはその技術が広く活用されるようなことも稀ではない。例として、コンピュータの場合で考えれば親和欲求、自我の欲求等の高位の欲求を満たす手段として定着した。

安心、安全、協調、競争というスローガンもあるレベルではわかりやすいスローガンであり、目標の方向性を表している。同時に科学技術がこうしたスローガンをどのように実現できるかに関し、誤った理解が生ずることも有り勝ちなことである。事故等が生じたとき「科学技術の発展した今日なぜそのようなことが生ずるのか？」というフレーズが、科学技術では実現できない様々な事象について語られることがあるのは、科学技術のスローガンが正しく発信されず、科学技術に対する過度な期待がもたらされた結果である。安心のレベルでも何をもって安心とするかは、その社会のレベルにも、人間の価値観にも依存するのであり、誤解を拡散させる恐れも少なくない。 変化の迅速化、グローバル化の中で、上位の欲求を満足することにより低位の欲求を超えて満足度を向上することが多くおこなわれている。社会の変化の中で、21 世紀のグローバル社会の中での社会的満足とは何かを明確化することが求められている。

（齊藤　忠夫）

３．各区分の概要

①クラウドコンピューティング（超分散スケアラブルコンピューティング）

計算機技術、情報処理技術に関する継続的な進化の結果として、分散コンピューティング技術を応用した新しい形態の情報処理サービスや情報処理システムが生まれてくる可能性が高い。この場合、現在の数十台から数百台といったレベルの計算機の連携ではなく、1 億台といった非常に多くのコンピュータが一体となって管理され、それらが多様なデータベースや様々なアプリケーションにアクセスし連係動作することによってサービスを提供する形態が一般化すると考えられる。このような超分散コンピューティングではコンピューティングパワーの量的な変化がシステムが提供するサービスの質的な変化をもたらすことが想像され、そこに人間と計算機世界とのかかわりという点において、新たな課題が生まれてくるものと考えられる。

（技術的重要性）

超分散コンピューティングに関して、技術面においては、多数のコンピュータが有機的に連結する一つの巨大な系として、如何に安定したサービスを提供できるようにするか、これらのシステム連携も踏まえた安定した系の構築技術や、情報セキュリティ面に関する技術的な進化が重要な要素となる。また、多様なデータを組み合わせ、様々なアプリケーションが連携することで、従来にない新しいサービスを支える技術の確立や、それを実現するためのネットワーク技術、データの処理技術、データマ

イニング技術などの個々の要素技術の更なる進化も課題となる。

（社会的重要性）

多数のコンピュータやそれを支えるデータベース、アプリケーションの連携によって、新たな付加価値をもったサービスを生み出すこと、および、そのサービスによって人々の社会生活が豊かになることが重要である。このためにはコンピュータが作り出す仮想世界と人々の営みの基本となる現実世界を超分散コンピューティングシステムがどのように取り持っていくか、利用者たる人間の社会活動との関係を意識した技術の成熟と定着が求められる。また、同時に、新たなサービスの創出に伴い、実世界におけるルールとの整合性、例えば、必要な法体系の整備やビジネスルールの整備などがこうした超分散コンピューティングの実用化に伴うサービス体系の拡大・普及に向けた重要な課題となると考えられる。

（将来性）

現在の分散コンピューティングは計算機同士をネットワークを介して結合するスタイルを基本としており、その延長として既にクラウドコンピューティングなどの新しいアイデアも一部実用化が始まっている。こうした動きは、超分散コンピューティングの先駆けとして、そのニーズが極めて大きいことを物語っている。しかしながらここで提示する 1 億台を超える多数の計算機の結合ということを念頭に置いた超分散コンピューティングの世界については、その実現に向けて現在のネットワークコンピューティングやシステム構築手法から、更に数レベル上の大胆な発想と斬新なアイデアが求められると考えられる。また、こうした超分散コンピューティングを機軸とした新たなサービスが広く世の中に受け入れられるようになるためには、ディペンダブル・コンピューティングの技術を取り込みながら、選考するいくつかの分野での実用化に向けた努力と、それによるエンドユーザ・メリットの拡大を見えるようにしていくことが求められ、そのために産学の連携や官による後押しなども重要な要素となる。

（平山　雅之）

②情報通信新原理

ニュートリノ通信、重力波通信あるいは未知の物理原理が、発見されることがあれば、ICT における画期的な進歩が生まれる。

量子暗号（量子鍵配送）の実用化が期待されており、量子物理学的に秘密通信が達成できる。

最近、f-MRI（functional Magnetic Resonance Imaging：機能的核磁気共鳴画像法）や MEG（Magneto-encephalograph：脳磁計）、NIRS（Near-infrared spectroscopy：近赤外分光法装置）といった脳機能を計測するツールを使って、人が考えている内容を外部の画像表示装置にごく概略ではあるが表示したり、義手や義足を動かすことができるようになってきた。その逆に、何らかの刺激で脳内の一部を活性化し、目や耳を介さずとも物が見えたり聞こえたり、記憶を呼び起こしたりすることが実現する可能性がある。これらが実現すれば、自分の脳で考えている内容を他人の脳に伝達することができるようになる。

（技術的重要性）

現時点での予測はできないが、物理理論上の新原理発見があれば大きな技術革新が期待される。

量子暗号の長距離化と高速化により、究極の秘密通信が可能となる。情報セキュリティの絶対限界が実現される。

脳内の活性化状況を観測する手段として、f-MRI などが使われているが、こうした大掛かりな装置を必要とせず、特殊な帽子や手袋などを装着することで脳内情報を取り出す技術が求められる。逆に

外部から非侵襲に刺激することによって脳内の任意の部位を自由に活性化することは成功した例はない。また、視覚代行手段の実現を目指して、撮像素子や電極を埋め込むなどの研究が進められているが、きちんとした映像を認識するに至っていない。記憶のメカニズムなども解明されていない。

（社会的重要性）

量子暗号通信により、絶対的な秘密通信が実現できれば、高度な機密性を求められる応用分野において、政治的あるいは経営管理的に信頼度が確保できる。

目や耳の不自由な人たちが視聴覚機能を持たせることができる。また、手足の不自由な人たちも思い通りに義手義足を動かすことができる。さらには、自分の脳で考えている内容を外部の装置に記憶することがきる。逆に、そうした外部情報を言葉や身振りを使わずに自分の脳内に入力し、記憶することができるようになると、従来の教育学習法が全く変わってしまう。マインドコントロールなどの危険性もはらむが、他人の経験、学習、記憶を容易に自分のものにすることができる。

（将来性）

量子暗号技術は、基礎研究の段階であるがプロトコル研究と装置等の実装開発が進められている。

人間同士が行うコミュニケーションを音声、書物、映像などを介さずに直接コミュニケーションできるようになることは、さらには人間以外の動物や植物などあらゆるものとのコミュニケーションも図ることができるようになるかもしれない。

（池田　佳和、榎並　和雅）

③空間共有通信

ネットワークで接続された相互が、同一の空間に存在するような認識を持てる通信環境の実現。それを実現するには、視覚、聴覚を含め、五感を刺激する情報を取得、伝達、提示することが求められる。これら五感情報を同時に提示するマルチモーダル、こちらからアクションを起こすことによって、表示が変化するといったインタラクションも臨場感を醸成するうえで重要である。さらに情報通信技術を使うことから、現実の世界に仮想世界を重ね合わせることが可能になり、CG 映像による VR (Virtual Reality)、CG と実写を組み合わせた MR (Mixed Reality)、現実の世界に言葉などスーパーすることによって現実感を強化する AR(Augmented Reality)なども実現することができる。

（技術的重要性）

視覚情報としては、同一空間にいる感覚を出すために、超高精細映像による大画面、包囲映像などの技術、特殊なメガネを必要としない立体映像技術を実現する必要がある。

聴覚情報としては、現在 5.1 チャンネルサラウンドなどで立体音響空間を再生する技術があるが、聞く位置が限られてしまう。空間を自由に動き回っても違和感のない立体感を取得再生することができる音響技術が重要である。

触覚については、力覚、肌ざわり、体感、などを特殊なグローブなどを装着することなく取得提示できる技術が求められる。また、嗅覚、味覚についてもセンシングと提示手段の実現が求められる。

ネットワークとしては、大容量の情報を、多様な形態の情報を同期して送ることが出来る必要があり、インタラクションやテレイグジスタンスなどをスムーズに行うために低遅延であることも求められる。

さらに、人間が臨場感をどのように感じているかという知覚認知メカニズムの解明も重要である。

（社会的重要性）

この技術の実現により、遠隔会議、遠隔医療、遠隔教育、テレショッピングなどが実現でき、現在の

環境問題、地域格差、高齢化など様々な社会的課題を解消することができる。さらに、高齢者の社会参画やデジタルミュージアムなどの実現により、より心豊かな社会を実現することができる。

（将来性）

VR や AR により、あたかもその場にいる高臨場感（スーパーリアリティ）コミュニケーションの実現、さらには人間が入り込めない空間に入れたり、より理解を深めたり、より感動的にコミュニケーションができる超臨場感（メタリアリティ）コミュニケーションが可能になる。たとえば、短歌や詩のように極めて少ない情報にもかかわらず感動を与えることがある。そのためには、人間がどのように臨場感を感じているのかの科学的アプローチも重要である。

（榎並　和雅）

④情報の社会化

情報通信システムの省エネルギー、食品の世界的トレーサビリティ、情報コンテンツのトレーサビリティ、高度医療電子情報システムで健康・長寿化、未知の危機に対処する総合的な実時間地球シミュレータ、遠隔制御可能な生活支援・介護・情報支援ロボットなど、地球環境を維持し、散在する情報を幅広く安全に収集して、安心で適切な社会サービスを受けられるようにする。

（技術的重要性）

情報通信技術（ICT）は、社会生活、企業活動、行政、研究開発等、広範な分野にますます活用されるため、そのエネルギー効率の大幅な改善は地球環境維持に重要である。社会への応用システムは、制度設計を含めたシステム開発の総合的な科学技術の進展に負う。社会ニーズへの適切な対応、政策と制度の適応性、個々の要素技術への研究と技術開発が必要である。

（社会的重要性）

市民生活全般にわたって、ICT が果たす支援システムの役割が大きくなる。食品の安全性、生活環境の保全、健康維持・医療機能向上、安全・安心を確保するセキュリティ、少子高齢化社会を支援する高度ロボットシステムなどがさらに求められるようになろう。

（将来性）

ICT 技術のブレークスルーを触発して要素技術がさらに進歩する余地は大いにあると考えられる。この応用分野の社会的必要性は極めて高いので、社会政策や制度の充実に後押しされつつ、将来は格段に進化すると期待される。

（池田　佳和）

⑤多文化交流

言語、文化、国家、宗教の壁を越えて、相互が理解できるような、人と人、人と機械のコミュニケーションを可能とする。

（技術的重要性）

実時間での音声認識・言語翻訳は対象分野を限定しない限り、現在、まだ実用的ではない。計算能力の格段の向上、アルゴリズムの改善、語彙等データベースの充実により改善が期待できる。バイオメトリクスは個人認証の決め手となる。情報通信ネットワークの一層の能力向上と低価格化により、応用分野が異文化の人々の交流に拡大する。

（社会的重要性）

異文化間の交流、国際的観光の活発化、透明度の高い草の根の情報流通が、一層深化すれば、国際政治の安定、平和維持に貢献できる。一般消費者にとって、外国の文化、宗教、習慣、言語等への理解が深まる。企業、研究者にとっても交流活動の壁が低くなり、機能が向上する。

（将来性）

ICT 技術のブレークスルーを触発して要素技術がさらに進歩する余地は大いにあると考えられる。多文化交流の国際的必要性は高いので、政策や制度の進歩を伴い将来はさらに進展する。

（池田　佳和）

⑥知能支援

文書情報、画像情報、映像情報だけでなく、個人の頭の中に記憶されている情報を広く収集して、電子情報の形で外部装置内に蓄積する技術が可能となろう。個人がそれらの情報を自分の頭脳に蓄えられた知識の一部であるかのように活用して、知的活動に役立てることが可能になる。

（技術的重要性）

脳内の記憶のメカニズムや情報の蓄積構造を明らかにすることにより、外部の情報をそれと親和性の高い形で利用可能にし、脳の拡張としての外部記憶が実現できる。さらに、個人の脳に記憶された言葉やイメージの読み取りや外部からの刺激による想起が可能になれば、思い浮かべるだけで直接相手に伝えることができる脳から脳への直接的な情報伝達が可能になる。

（社会的重要性）

視覚や聴覚の障害者のために、映像情報、音声情報をその人の脳に直接伝達することが可能になる。また、ALS（筋萎縮性側索硬化症）患者に対しても、思い浮かべるだけで外部と言葉で意思疎通ができる装置も開発されるだろう。このように、多くの障害を補う技術として有用である。

（将来性）

障害を克服する技術としてだけでなく、人間にとってもっとも自然なユーザインタフェースを実現するためにも、これらの技術の実用化が求められる。爆発的に増加する電子情報を、個々人の経験や記憶と親和させながら利活用するための基礎技術として、これらの技術の重要性はますます高まる。

（その他）

個人の記憶が外部から読み取り可能になり、外部から刺激により特定の記憶の想起を促すことが可能になれば、必然的にプライバシー侵害の問題が発生する。脳から読み取った情報の管理や利用の範囲、あるいは、いつ誰に対してどのような記憶想起操作を認めるかなどについて、社会的な合意を形成していくことが大きな課題になる。

（高野　明彦）

⑦運動支援

人間の運動能力を支援する機械と、それを自分の身体の一部のように操作するインタフェースを中心に構成される。人間の運動能力を支援する機械の典型例はロボットスーツまたはパワースーツと呼ばれ、身体に装着し、さまざまなセンサ（例えば、筋電位センサ）で人間の意図表示を読み取り、電動アクチュエータや人工筋肉を使って、運動に変換するロボットである。現在は、医療や介護領域での展開が進めら

れている。パワースーツをより一般化すると人間と機械が融合したサイボーグという概念に近くなる。サイボーグという概念は人類が古来もっていたものであり、小説やアニメなどでこれにまつわるさまざまな作品がつくられてきた。一方、自動車や電車も人間の特定の能力（例えば、移動や運搬）を強化するための、古典的な概念である。今後は、機械部分とその駆動の根源である人間の脳、そして判断するための信号を脳に送る神経系の部分がこれから発展する情報技術を使って高度化し、将来は、人間が自然に表出するしぐさを読み取って、人間に負担を与えることのないサイボーグも出現すると思われる。今後重要になると考えられる方向性は次のようなものである。

【熟練技能者のスキル伝承強化スーツ】

熟練技能者と全く同じ視聴覚環境の中で熟練技能者のスキルを再現する。単に熟練技能者の動きを表層的にまねをするのではなく、深いレベルでとらえることにより、従来は熟練技術者だけがもち、他の人に伝えにくいノウハウも伝えることができるようになり、運動だけでなくもっと高度な知識と連携してゆく可能性がある。

【知覚能力強化装置】

家庭内で眼鏡をかけず、かつ疲れないで視聴できる立体 TV の一般化。視聴覚障害者に健常人と同程度の安全性を確保できる程度の人工視覚や人工聴覚、見通しの悪い地点等の視覚を補助する機能の実現をめざす。

【生命維持装置】

生命にかかわる重篤な事態の発生の兆候を示す身体の異変を検知し、本人・周囲に知らせるとともに緊急措置を行う。乳幼児、妊婦、過酷なスポーツ、老人一般など生命を脅かす原因が特定されておらず、広範な原因があり得る場合を想定する。被介護者の建物敷地内での 72 時間の自立生活を保障するシステムなどは、より広い観点からはこの範疇に入る。

【移動・運搬支援、自律搬送】

人間の運転する車で、見通しの悪い地点など視覚補助機能が必要なほとんどの地点に設置され、運転者に介入し、支援することにより、交通事故が現在の十分の一となる。自動車の自動運転により、住所をセットするだけで日本国内の任意の住所間で人間と荷物を乗り換えなく自律搬送できるようになるだろう。

（西田　豊明）

⑧情報の適切性の確保

ネットが普及し、日常的に電子メールやショッピング、オークション等を利用する環境ができ、多くの人々が利用するようになってきている。そのような中で、誰もが気軽に利用できることから、気軽に情報を扱ったり、むしろ悪意をもって故意に誤情報を流したりする場合もある。このようなことによる社会不安を少しでも低減化する方策が研究され、徐々に実用化してきている。しかしながら、これらのことは単に工学的な技術のみでは実現することは難しい。どのように時間軸上で組み込んでいけば社会に流布していくのか、また、どんな仕組みがあれば人に安心感を与えられるのかなど、人の側面、社会の側面からの技術アプローチも欠かせない。「情報の適切性の確保」とは、このような中で、工学的・心理学的・社会学的にも妥当な技術を考案し、普及させ、人の行動を安定的にしていく技術である。そのために、具体的なものと

して、情報の発信者の特定や、内容そのものも認識したりし、ネットで扱われている情報を適切に監視、管理することなどにも関わっている。

（技術的重要性）

ネットに存在している情報を内容面から監視することは非常に難しい。悪意があるものであっても、たとえば、裏サイトと呼ばれるものの大きな問題点は、差別的な言葉が明示的に書かれているものばかりではなく、 新しい言葉が生まれたり、言葉そのものは特に問題が無いが、それが文脈をもって語られたときに傷つけるものになっていたりと、判別が困難である。もっと難しいのは、悪意があるわけではなく、何となく著作権を侵害していたなどの問題である。引用の意識無く文章を転用したり、他の文脈に埋め込んだことによって意味が変化したりなどの現象はよく見られる。これらのように時間軸で情報が変化したり、文脈に埋め込まれていたり、また断片性と全体性との関係の問題など、多様な技術要素を含んでいる。さらには、これらの問題が技術的に確認されたとしても、それをたとえば法廷闘争のような社会的な場面において、信頼性、しかも社会的信頼性という側面での技術的解決案で無ければならないという側面も持っている。

（社会的重要性）

現在進行形で進んでいる情報化社会と、社会構造そのものの変化による信頼性付与の社会ネットワークの変化の両側面で、いままでの社会の通念が変化している。たとえば公的にでる情報は従来は信用できる専門家が時間をかけて吟味し社会浸透性も考慮して公表していたが、いまのネット社会では素人が情報を収集し加工して出している。そしてまたそれを別の人がまた加工するといった状況にある。このような社会の中で、信頼性を再構築するための手段として、今後変わりゆく人間関係の社会ネットワークを見据えながら技術的な道具立てを作ることは重要な意味を持つ。また、技術の確立にとどまらず、それを普及し、そのためにまた社会が変化し、そしてそれを受けてまた技術が作られ普及していくと行った、スパイラルの発展を考慮し、位置づけていくことは大きな課題である。

（将来性）

現在の適切性の技術は、電子透かしやトレース技術に代表されるような原本や経路になっており、情報そのものに対する技術に徐々に関心が移っている。こうした動きは、まだ純粋に技術的なものであるが、社会においてそれが浸透したり、信用される技術となるには、工学以外の知見を合わせた学際的な研究が必要になってくる。そうした動きも既に始まっており、よりいっそうの加速化が望まれている。

（その他）

信頼性の問題として常にでてくるのは、信頼を保証できるレベルのみしか技術的に世に出してはいけないのかという議論である。ある程度の信頼性で良ければ出しても良いというのと、それにより被害に遭う人もまた存在してしまうかもしれないというリスクと表裏一体のことではあるが、完全に保証しなければならないとなると技術的に解決できる領域が狭まることにもなる。それを複数の技術で信頼度をより高めていくなど、現実の人間社会で行われている信頼性のレベルに即して、かつ、人が受け入れてもらえる技術としての感覚と合わせた社会的な合意形成も大きな課題となる。

（吉川　厚）

⑨ユビキタスネットワーキング

「ユビキタスネットワーキング」とは、あらゆるところに存在する（遍在する）コンピュータ、サーバー（デー

タベース)、コンテンツ、各種センサ、ディスプレイなどの出力装置、RFID などのタグデバイスを有機的に接続し、様々な応用を提供する、という概念である。応用には大別して、コミュニケーション、行動支援、監視・見守り、遠隔操作(リモートアクセス)、物流管理、ホーム ICT、広告・サイネージなどが挙げられるが、これらに留まらない。上述のように、「ユビキタスネットワーキング」は大変広い概念であるが、情報通信全体の中では「物理的に遍在する何らかのデバイス」がネットワーク化される事で成り立つシステム、と定義づけされよう。つまり常に「リアル」を伴うシステムである、ということである。

(技術的重要性)

「ユビキタスネットワーキング」の技術は情報通信とエレクトロニクスの全てを網羅するといっても過言ではないが、今後特に重要となる技術として、物理的デバイス(センサー、ID、出力装置など)を複数の応用で共同利用するための技術があげられるだろう。共通プロトコル、アクセス制御(制限)、セキュリティ確保、などの各技術にブレークスルーが求められる。同時に、従前より指摘されている通り、RFID のさらなる低コスト化や、近傍無線(赤外線通信なども含む)、無線アドホックネットワーク、シームレス接続などの高度化、などが求められる。

各要素技術を効率的に協調させ、トータルコストを抑制するための仕組み作りと標準化をタイミングよく進めることが進展の鍵となる。

(社会的重要性)

監視目的で設置されているカメラや広告やサイネージのためのディスプレイ等が街頭に設置されている。例えば、犯罪防止目的で設置しているカメラを人々の流動状況調査に利用する、広告用ディスプレイを緊急情報伝達に利用する、などといった「ユビキタスデバイスの多目的共用」が進むと考えられる。「デバイスの共用」という概念は「安心・安全」、「環境」などの重要な社会的要請に応えるひとつの鍵であろう。

(将来性)

情報通信の分野は間違いなく「ユビキタスネットワーキング」の方向へ進んでいる。あらゆる科学技術が正の側面と負の側面を持つように、「ユビキタスネットワーキング」にも負の側面がある。一例として、プライバシー侵害、個人情報の流出などへの危惧が挙げられよう。負の面を抑えつつ利益を享受するための研究開発が求められている。

(加藤　洋一)

⑩超大規模ソフトウェア

計算機やそれをとりまく様々なデバイスは現在も進化を続けている。その延長線上で、多様なハードウェアプラットフォーム上できわめて大規模(たとえば 1 億行超)のコードを動作させ、サービスを提供する超大規模システムが実現されることが予測される。一般にソフトウェアの開発においては、その信頼性を確実なものとし、かつ適切な開発効率で実現することが求められるが、超大規模システムの場合においても同様である。しかしながら、上述のような超大規模システムにおいて信頼性や生産性を適切な値にコントロールし適切な機能サービスを実現することは極めて難しく、現在のシステム、ソフトウェア構築技術だけでは十分とは言えず、さらなる技術進化が求められる。

(技術的重要性)

超大規模ソフトウェアを実現する上で特に重要な課題は、まず、その仕様を明確に定義し、それらに

誤りがないことを表現し検証することが出発点となる。また、そのようにして定義された仕様をソフトウェアとして誤りなく実現するための設計手法や実装手法などの確立も重要である。また生産性の面からは、ソフトウェアモデリングを出発点とするソフトウェア自動生成やシステム自動構築技術、あるいは、そのベースとなるコンポーネント技術の進化も課題達成に向けた重要なハードルとなる。また、超大規模ソフトウェアはそれを動作させるソフトウェアプラットフォーム、ハードウェアプラットフォームやそれを取り巻く周辺デバイスなどとの接点が広がるために、それらの相互影響を最適化することが求められる。このために OS やミドルフェア、LSI やデバイスなど関係する要素技術の進化も視野にいれた超大規模ソフトウェア構築技術を確立していくことが求められる。

（社会的重要性）

一方で超大規模ソフトウェアでは提供する機能数も膨大になることが予想され、多くのユーザやステークホルダが関係するようになると考えられる。このため、これらのシステムに障害が発生するとその影響はきわめて広い範囲に及ぶことが考えられ、障害の発生や影響拡大を如何に未然に防ぐかといった点が重要な課題となる。また、これらの超大規模ソフトウェアは金融、医療、交通などをはじめとする社会インフラを構成する重要な要素となることが考えられる。このため、ソフトウェアで扱う様々な情報に関する情報セキュリティ面への配慮や、システムディペンダビリティの実現などが社会的にも重要となる。

（将来性）

先に提示した超分散コンピューティングの実現とともに、複数の計算機が連携した巨大なコンピューティングシステムをプラットフォームとして、その上できわめて大きなソフトウェアが動作するようになるであろう時期は、それほど遠くない将来に来るものと考えられる。一方で、こうした時代に備えて、超大規模ソフトウェア開発を見据えたソフトウェア工学の更なる進歩が求められる。ソフトウェア工学の分野でも、現在、モデル駆動開発、コンポーネントベース開発など様々な試みが繰り返されており、これらの技術を出発点として、超大規模ソフトウェア開発のための技術整備が今後、加速していくことが予想される。また、こうした既存の技術の延長とは別に、超大規模ソフトウェア実現に向けた斬新なアイデアの創出や実現が求められる。これらに関しては我が国が得意とする組込みシステム技術や実装技術などを起点として、ハード、ソフトの連携した大規模システムを実現する新しい開発パラダイムを、産学の連携フレームの中から創出していくことが望まれる。

（平山　雅之）

⑪コンテンツサービス

コンテンツ産業、サービス産業分野における科学技術課題では、「情報技術の社会的受容がもたらす新たな活用の可能性」が大きなテーマとなろう。もちろんこれまでも、コンピュータやインターネットといった情報関連の技術は社会に広く普及し、産業の姿を大きく変えてきた。これらは、数値演算や論理演算といった比較的単純な作業を高速で行うこと、その結果をネットワークでつなぎ共有することによって、これまでの情報の流れを改善したり、事務処理を効率よく低コストで行ったりするというかたちで実現されたのである。

この路線は、少なくともある程度、今後も続くのではないかと思われる。現在、こうした機械化、自動化の流れはすでに相当程度社会に行き渡り、一見ほぼ一段落した状態にあるようにも見えるが、必ずしもそうとはいいきれない。既存のやり方への慣れや組織・職域を守ろうとする動き等、技術とは異なる人的・社会

的な理由により、これまで情報技術を充分に活用してこなかった領域は少なからずあり、この中には、今後社会的受容が進むことにより、情報技術の新たな活用機会となりうるものが含まれている。小額コンテンツ管理・決済システムなどはその例になるかもしれない。

同時に、これまで情報技術が充分にはカバーできなかった、より高度な知的作業の領域における情報技術の新たな利用も、重要なテーマとなろう。さまざまな情報を総合して政府や企業における意思決定をサポートするシミュレーション技術、映画制作の場でのエージェント技術の利用による人間の俳優の代替、少数の専門家ではなく多数の人間の知を集約して予測や意思決定を行う予測市場のように、これまで人間でなければできないとされていた領域においても、新たな技術で人間の作業を置き換えることによって、あるいはむしろ人間の力をシステムの一部に取り込んでいくことによって、情報技術の新たな活用の余地が今後生まれるかもしれない。

こうした新しい技術は、人間に社会との新たな関わり方を可能にし、それゆえに社会にも大きなインパクトを与えうる。たとえば、仮想空間やアバターといった技術はすでに存在するが、現実とは切り離されたものとして扱われるのが現在のところ一般的であろう。しかし、ユーザインタフェースがさらに改善され、普通の人がごく自然に、技術の使用をまったく意識せずに容易に使えるようになり、人間の頭脳や肉体の自然な延長として機能するようになれば、現実社会との接点は大きく広がる。それらを社会生活のプラットフォームとして活用しようとする人が増えるにつれ、慣習や制度も対応していくことになろう。ちょうど電話やテレビの普及が人間のコミュニケーションのスタイルを大きく変えたのと同じように、人間の社会生活への参加のスタイルは、大きく変わっていく可能性がある。

もちろん、技術の社会的受容は、技術が発展すれば当然に起こるというものでは必ずしもない。特にこの分野では、法律や慣習、あるいは企業や個人の事情といった要因が強く影響する。その意味で、この領域の科学技術予測は、他の分野と比べて、社会的受容の側面により重きをおいたものとならざるを得ない。しかし、歴史をふりかえれば、技術と社会は、相互に影響を与え合いながら、スパイラル的に発展してきた。したがって、技術予測が社会の予測を伴い、社会の予測が技術予測に依存するという関係があるはずであり、それら双方を併せて考えていく必要があるものと考えられる。

（山口　浩）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
クラウドコンピューティング（超分散スケアラブルコンピューティング）	1	1 億台以上のコンピュータを適時・有機的に結合し不特定のユーザに不特定のサービスを提供する系において、サービス遅延やデータ欠損などを起こすことなく、常に安定して多様なユーザリクエストに応え、安定したサービスを提供できるようにするためのシステムを半自動的に効率的に構築するための技術・手法が広く利用されている
	2	1 億台以上のコンピュータを適時・有機的に結合する巨大な系において、実現されている機能サービスやそこに介在するデータ群から、新たな付加価値を持つ情報を生み出し、それらをもとに新たな機能サービスの創出につなげていく自律的サービス進化型システムが、社会生活の様々な局面で利用されるようになっている
	3	実世界および仮想世界の多様な情報を格納し、その間を様々なソフトウェアエージェントによって結びつけることで、それらの情報を同期させながら、個人の生活や企業活動のリアルなシミュレーションを実現するサービスが広く利用されている
	4	個人情報が安全に管理され、個人情報漏洩を恐れることなく、確実に保護しながら社会的公益性の高い情報の扱いが信頼された状況で行われる技術が確立する

区分	番号	科学技術課題
	5	個人の生活、健康状態、労働状況等を個人ごとに常時総合的に把握し日常行動に適切なアドバイスをするシステムが広く受け入れられる
	6	すべての個人の日常行動が把握され、統計的に処理され、混雑、事故等を適切に検出し自動的に対策をとる社会システムが実現する
情報通信新原理	7	ニュートリノ通信、重力波通信あるいは未知の物理原理による情報通信が実証される
	8	情報通信分野の各種サービスやアプリケーションに対する主観評価実験を、実際の被験者を用いることなく十分な正確さで効率良く実施することが出来る擬似主観評価実験技術が確立し、広範に利用されるようになる
	9	実用的な量子暗号
	10	自分の目や耳で得た情報を直接他人の脳に伝達することにより、視覚、聴覚の補助ができる
	11	目や耳を介さずに、人と人との意思疎通ができたり、自分の脳で考えている内容を他人の脳に伝達することができる
	12	五感以外の感覚、たとえばテレパシーや第六感、念力などのメカニズムが解明され、日常のコミュニケーションに使われる
	13	現実世界の隅々にまでコンピュータやタグ、センサなどが配備され、現実空間全体がコンピュータないしそのネットワークとして機能するインフラが日本国内において実現する
	14	現在コンピュータないしそのネットワークに対して行えるような高速かつ低コストな検索等の情報処理を、現実世界に対しても容易に行えるインフラが日本国内で普及する
	15	外部のコンピュータやそのネットワーク、それらに接続された各種センサ・周辺機器等の全体を、人間が自らの脳や感覚器官、身体の延長として自然に使いこなせる技術が確立する
空間共有通信	16	自由視点での視聴が出来る映像の本格的な放送が始まる。例えば、サッカー中継では選手を指定してその視点での映像を視聴したり、全体の動きを見るため天井からの視点を選択できる
	17	視聴覚の情報に加え、手触り、香り、味も伝えることによって、家庭に居ながらにして、あたかも店に出むいて商品をたしかめているようにショッピングが可能になる
	18	遠隔にいる高齢者や障害者に対し、遠隔操作により生活援助や介護を安全に行うことができるロボットハンドや走行ロボットが実現できる。安全に介護するために、ロボットには遠隔地からでは気がつかない危険を回避するなどの自律性や予測能力も持ち合わせる
	19	遠隔地にいながら直接患者と向き合っているように、患者に優しく聴診器をあてたり、触診したり、口臭などを感じたりできるようになる
	20	旅行など外に出かけることができない人でも、観光地のロボットを遠隔操作することで行きたい所に広画角・立体カメラと高臨場感音声取得マイク、触覚・雰囲気・においセンサーなど持っていくことで、あたかもその場にいるような感覚をもたらすことができるようになる
	21	映像認識・理解の技術が、映画などの過去の映像作品から、その台本（せりふや役者への指示だけでなく、大道具、小道具を作成できるような記述も含む）を自動作成できるレベルまで進展する
	22	群衆の中にいる人間の中から顔画像認識して、個人を特定できるシステム
	23	異なるオフィスにいる同僚と常時同じオフィスにいるのと同じコミュニケーションで協力できるようになり、すべてのオフィスワーカの仕事の半分の遠隔勤務が日本で実現する
	24	テレワークが発達し，各人がそれぞれ他所にいながら、勤務者の業務の管理が遠隔でできるようになり、指さしで指示できたり、内緒話もできたり，相手の手元のプリンターに印刷して書類を回したりなど、あたかも一堂に会して一同に介して作業をしているよう臨場感を持つバーチャルオフィスが使われるようになり、日本でのリアルオフィスの勤務者が半減する
	25	対面型ビジネスコミュニケーションを物理的移動により実際に対面して行う組織間及び組織内の会議・打ち合わせ・プレゼンテーションと定義したとき、ワークライフバランスの観点及び低炭素社会実現の観点から、現在の対面型ビジネスコミュニケーションの 50%が遠隔化される

区分	番号	科学技術課題
情報の社会化	26	グリーン ICT システム：情報の伝達・蓄積システムに係る必要エネルギー量が 2010 年に比較して、100 万分の1になる（取り扱い情報量で正規化）
	27	ヒトのアンチエイジングのために体内や体外に高度医療電子情報システムが使用され、その効果により平均寿命が 2010 年値よりも 10 年長くなる
	28	盗まれた情報や一度散ってしまった情報を追跡するため、情報の発生源において電子刻印されたコンテンツが伝達段階で抹消・改変されることのないよう維持される「情報トレーサビリティ」が制度化される
	29	食品の大半をカバーする世界的トレーサビリティシステム
	30	地球規模の未知の危機に対応するため、実時間データに基づき全地球的な気象・海洋・環境・生態系・伝染病・経済・人の動きなどを、トータルにシミュレーションして予測するシステム
	31	遠隔にいる高齢者や障害者に対し、遠隔操作により生活援助や介護を安全に行うことができるロボットハンドや走行ロボットが実現できる。安全に介護するために、ロボットには遠隔地からでは気がつかない危険を回避するなどの自律性や予測能力も持ち合わせる
	32	物理的（機械的）な介護支援機能に加え、多様な情報サービスをユーザに提供する生活支援型ロボット。また、被介護者がしてほしいことをそのしぐさなどから察知して、気の利いたメッセージを提供したりすることができる
多文化交流	33	言語だけでなく文化的背景や地名人名などの固有名詞なども自動学習し機械翻訳できるシステム
	34	バイオメトリクス認証の高度化により、パスポート不要で外国旅行ができるようになる
	35	さまざまな世界の WEB 情報や新聞・放送情報、学会情報などから、多言語で知識を自動的に蓄積し、コーパスを構築することによって、あらゆる分野のことばのやりとりを自動的に音声認識し、翻訳し、音声合成できるシステムが実現できる
	36	インターネットを活用して世界の大部分の TV 番組を地域を問わず高品質で見られるようになる
	37	日本で世界の TV 番組のほとんどをネットワークを通して言語の障害なく視聴でき国際理解がすすむ
知能支援	38	視覚障害、聴覚障害者のために、映像情報、音声情報をその人に伝達することができる
	39	ALS などの障害のある人に自分の意志を言語に変換できるポータブル会話装置
	40	記憶のメカニズムが解明され、外部から何らかの刺激を与えることで、脳に記憶された言葉やイメージなどの情報を思い浮かべることができるようになる。さらに、その情報を人に直接他人に伝達することができる
	41	優れた芸人の所作や職人の技やちょっとしたしぐさ、作家の創造や思考のプロセスなどを、その人に邪魔にならずに自動的に取得しアーカイブすることで、技術や文化を継承することができるシステム
	42	個人の記憶をコンピュータに移し、自分の記憶と同様なインタフェースで検索し処理出来るようにして、脳の機能が拡張される
運動支援	43	（熟練技能者のスキル伝承強化スーツ）熟練技能者と全く同じ視聴覚環境の中で熟練技能者のスキルを再現する強化スーツ
	44	（生命維持装置）生命にかかわる重篤な事態の発生の兆候を示す身体の異変を検知し，本人・周囲に知らせるとともに緊急措置を行う．乳幼児，妊婦，過酷なスポーツ，老人一般など生命を脅かす原因が特定されておらず，広範な原因があり得る場合を想定する
	45	緊急マネジメントシステム：災害時に人やリソースの手配、連絡業務を含むマネジメント、各方面への通報、事後レポートの生成を行う．典型的なケースとして，大学センター試験日における積雪による電車の遅れ，大規模災害（火災，交通事故）を想定する
	46	家庭内で眼鏡をかけず、かつ疲れないで視聴できる立体TVの一般化
	47	自動車の自動運転により、住所をセットするだけで日本国内の任意の住所間で人間と荷物を乗り換えなく自律搬送できるようになる

区分	番号	科学技術課題
	48	視聴覚障害者に健常人と同程度の安全性を確保できる程度の人工視覚や人工聴覚が開発され，実用化される
	49	被介護者の建物敷地内での 72 時間の自立生活を保障するシステム
	50	被災現場で人間識別および救助に利用可能な災害救助ロボット技術
	51	日本国内において、人の運転する車で、見通しの悪い地点等の視覚補助機能が必要なほとんどの地点に設置され、運転者を支援、介入することにより、交通事故が現在の十分の一となる
	52	自動運転専用の道路が一般化し、自動運転が行われて道路の利用効率が現在の 3 倍に向上し、渋滞のほとんどない自動車交通が実現する
情報の適切性の確保	53	誹謗中傷などの問題がある情報をネット上で検知し，そのときに人の自浄作用を促すように介入する人工エージェントが活躍するようになる
	54	どんな状況においても，発信している情報を読み取り，書かれている内容から人の対面コミュニケーションとその周囲に見ている人たちのようにイメージ化して，行為の適切さを促すイメージング技術
	55	ネット上の情報を誰がいつ考案したのか，その確からしさはどの程度なのか，その後どのように改訂されていったのか等を，著者の自己申告によらずに管理し，信頼性を保証する手段として確立していくようになる
	56	(証拠生成管理システム)市民が種々の情報(例えば，騒音や迷惑)を証拠として係争可能なレベルで保管することを可能にするシステム
	57	(社会構成員の社会基盤情報の理解と実行を保証する技術)社会構成員(子供，非専門家を含む)の理解能力に応じて，社会生活を送るために必要となる社会基盤情報(例えば，契約内容や取扱説明書)を適切な形で提供し，確実な理解と実行を可能にする技術
ユビキタスネットワーキング	58	当初の目的は「防犯」であった街頭カメラなどの各種センサや、元来「電子広告」向けの街頭ディスプレイやスピーカーを、「ユビキュタスデバイス」として一定のルールの下に開かれた形で他の目的でも利用できるようになる
	59	RFID 等のタグ価格が数銭レベルとなり、食料品や日常品へのタグの付与が幅広く実現される
	60	30%以上の日本の一般家庭で、冷蔵庫、洗濯機、電子レンジなどの「白物家電」の半数以上がホームネットワークに接続される
	61	体内埋め込み型の健康管理デバイスが日本の人口の 30%以上に普及し、個人の健康管理だけでなく統計的に疾病発生状況を把握することで予防的健康管理が大きく進展する
	62	公共交通機関において、購入した乗車券の内容が駅構内等の支援手段に近接通信で伝達され、個人ごとに適切な案内、サービスが行われ、初めての人でも看板等を探すことなく、目的地に到達できる
超大規模ソフトウェア	63	多様なハードウェアプラットフォーム上で 1 億行以上のコードが動作する超大規模システムに関して、その要求仕様を余すところなく抽出し、仕様間の矛盾を排除し、適切に表現・検証するための仕様化技術が一般的に利用されるようになっている
	64	1億行以上のコードが動作する超大規模システムの設計・実装作業を自動化することで、システム障害を引き起こす不具合要素を除去し、運用段階での不具合率を 5%以下におさえ意図したとおりの動作を実現するための大規模複雑システム向けの設計・実装技術が確立している
	65	超大規模複雑システムにより構成される社会インフラシステムの運用段階において、システム障害発生の 12 時間前までに、システム障害の発生を予測し、システム側の自律的な判断によって障害発生を防ぐメカニズムやシステム縮退をはじめとする障害発生への対処メカニズムを実現しシステム障害を未然に防止できる
	66	超大規模複雑システムの開発に関して、人間作業者による作業関与を 50%程度に抑えることができるシステム自動構築ツールが実現され、システム開発技術者の知恵をシステムによる付加価値創造に振り向けることができている

区分	番号	科学技術課題
コンテンツサービス	67	政策提言や制度設計の時には，社会的受容性や国内外での影響などを個々人のレベルでシミュレーションし，問題点を把握する技術
	68	企業が提供するサービスを提供前に，現有資源に基づいて，顧客の購買行動の変化や価値観の変化などを多面的な観点でシミュレーションし予想することが当たり前になり，事前に問題点も把握できるようになる
	69	仮想世界サービスが、Mixed Reality 技術等を通じて現実世界と結びつくことにより、現実世界を補完、代替しあるいは入り混じって使われる社会インフラとして普及し、人々が社会活動の場として利用するようになる状況が日本で実現する
	70	雇用や売買等の契約、納税等の社会活動を、本来の人格と並んで、アバター等の仮想人格の名で行う慣習が日本国内で広範に普及し、一部のアバターは登記されたり、法人格を与えられたりするようになる。これにより、人々はアバターを含むさまざまなアイデンティティを使い分け（Mixed Identity）、空間の壁や身体上の問題等を乗り越え、あるいはプライバシーをコントロールしながら、現実世界に関わっていくことができるようになる
	71	実用的な少額コンテンツ管理・決済システム（ジャンルを横断する著作権管理データベースが統合的に運用され、検索・マッチングシステムや少額決済システムと連動して権利処理が半自動的かつ事実上無視できる水準の事務コストで実施されるようになり、権利者の手元に収入が確実に届くようになる）
	72	全世界的な経済活動と地域ごとに動いている経済活動（あるいは学校）など広範囲とローカルな両面の要因を持つ人の流動と，それぞれの地域ごとの気温や湿度・風向きなどの環境要因と，感染症の発生など人が持っている生理学的な仕組みとをあわせて感染症の発生と伝搬を予測する技術が使われるようになる
	73	予測市場やその他の集合知メカニズムが、企業や政府を初めとする社会一般で幅広く活用されるようになり、経済や社会等についての予測、政治や企業経営等の意思決定、感染症やテロ等のさまざまなリスク情報の発見がより適切にかつ効率よく行えるようになる
	74	CG 技術、エージェント技術の発達により、アイデアさえあれば誰にでも、実写映画と見分けのつかないクオリティの CG アニメーション映画が安価に作れるようになる
その他境界・融合・新興領域	75	遠隔コミュニケーションツールとしての遠隔操作型ヒューマノイドロボットが実用化され、傷病、年齢、心身障害等、さまざまな理由により社会に参加できない人が社会に参加できるようになる
	76	ICT 活用により情報格差（ネット通販、高品質仮想現実システムによるコンサート・展覧会・会議・懇談・遠隔恋愛等）に関して、80％の過疎地住民が、首都圏住民と大きな差異を認識しなくなる
	77	システムバイオロジーの進展に基づく個別医療の実現
	78	提供するサービスが、国・地域、分野毎に異なる法令によりどのような時期や形態なら提供可能かを提案するシステムが使われるようになる

第3節　No.3 分科会：バイオとナノテクノロジーを人類貢献へ繋げる

1．検討範囲

No.3 分科会で設定された検討範囲は、以下の通りである。

①バイオ・ナノテクノロジー基礎技術（原理、メカニズム）
②バイオ・ナノテクノロジー応用技術
③バイオ・ナノテクノロジー医療技術
④予防医療・診断
⑤治療（外来因子・代謝性疾患、精神疾患等）
⑥再生医療
⑦農林水産関連バイオ・ナノ産業技術（機能性食品等を含む）
⑧エネルギー・環境関連バイオ・ナノ産業技術

図表 3-2：　No. 3分科会で検討されたキーワード

2. 要点

バイオテクノロジーおよびナノテクノロジーは人類が築き上げてきた科学技術の中では比較的新しい技術であるが、人間の本質的願望である安全かつ良質の食糧・エネルギーの確保および健康の維持に係る技術であるため、人間の生活の中で果たす役割は確実に増大してきており、人々の期待も大きい。過去の約 30 年間で、バイオテクノロジーおよびナノテクノロジーに関する基礎研究・技術は目覚ましく進展した。それらの一部はすでに実用に供されて人類の生活に貢献しているが、今後はさらに本格的応用の時代に進むと考えられる。

(1)バイオテクノロジーの歴史および現状

具体的に過去四半世紀ほどの間のバイオテクノロジーの進展を振り返ってみると、1973 年のコーエンとボイヤーによる遺伝子組み換え技術、および 1977 年のサンガー、ギルバートらによる DNA シークエンシング法に代表される遺伝子工学関係発明とその後の改良および関連発明によって多くの生命現象が解明されただけでなく、クローン羊ドリー誕生(1996 年)、マウス(1981 年)およびヒト(1998 年)ES 細胞株樹立、ヒトゲノム完全解読(2003 年)、iPS 細胞作製(2006 年)など生命の本質に迫る研究成果へとつながってきた。微生物・植物では遺伝子工学手法による品種改良が進んでいる。周辺技術との融合も進み、量子ドット、ナノマシン、カーボンナノチューブなどのナノテクノロジーはバイオテクノロジーと一体となって実用化が図られつつある。また、研究対象の複雑化に伴い、IT を駆使したバイオインフォマティクスが生命現象解明に必須の技術になってきている。

(2)バイオテクノロジーの将来

以上の概観を基に考えると、将来の生物学は、

○静的・分析的な一、二次元型研究からバイオインフォマティクスの支援を要する動的・統合的な多次元型研究へ、

○基礎研究中心から境界領域を巻き込んだ応用研究へ、

○さらには、ゴールが明確なニーズ充足型研究からシーズ起点のゴール創出型研究へ、

と変貌して行くと予想される。

(3)バイオテクノロジーの応用分野

バイオテクノロジー、ナノテクノロジーが実用化へと進むとき、これらの技術に期待される応用分野としては、医療、農林水産、環境およびエネルギーが考えられる。

医療分野でバイオテクノロジーは疾病の原因・発症メカニズム解明および創薬研究においてすでに必須の技術となっているが、治療充足度が未だに不十分ながんおよび精神疾患の治療法、治療薬開発を中心に重要度が増すと考えられる。今後大きな展開が期待される再生医療においてバイオテクノロジーは中心技術である。また、早期対策を可能とする疾病の発生・発症予測も重要な応用の対象である。

人口の増加による耕作地の不足および温暖化・乾燥化による農林業環境の悪化が地球規模で進んでおり、開発途上国では衣食住原料の確保が喫緊の課題である。一方、先進国では量より質への欲求、特に健康で良質な生活のための農林水産物への欲求が高まっている。このように二極化する世界において、農林水産分野でバイオテクノロジーが果たすべき役割は、不適環境での食糧生産、未開拓生物資源の発掘・活用、健康増進食品の創製等であろう。

エネルギー・環境分野では化石燃料の枯渇、地球温暖化に対応できる再生可能なエネルギー源の生産および化学エネルギー、光エネルギー等の力学エネルギーへの変換においてバイオテクノロジーへの期待が大きい。また、汚染された環境の修復、さらには汚染を未然に防ぐ技術も求められている。

さらに、各分野での以上の需要を満たすためには、各技術のさらなる深化が必要である。応用研究と相まって基礎技術がさらに進化すると、それらの基礎技術を基にした新たな製品・応用技術が誕生する可能性もある。

(4) 予測対象分野

本分科会では、以上の考察に基づき、バイオテクノロジーが関係する分野を大きく、医療、農林水産およびエネルギー・環境分野に分類し、それぞれの分野での今後 30 年間の技術とともに、分野共通の基礎および応用技術の進展を予測の調査対象とした。ただし、医療関係は、農林水産分野およびエネルギー・環境分野に比べて研究対象、研究者とも多岐にわたるためさらに医療技術、予防医療・診断、治療、再生医療に細分化し、全体で以下の 8 つに分類して課題を設定した。

1: バイオ・ナノテクノロジー基礎技術
2: バイオ・ナノテクノロジー応用技術
3: バイオ・ナノテクノロジー医療技術
4: 予防医療・診断
5: 治療
6: 再生医療
7: 農林水産関連バイオ・ナノ産業技術
8: エネルギー・環境関連バイオ・ナノ産業技術

また、可能な限り具体的な課題設定とするため、例えば治療に関しては対象をがんおよび精神疾患に絞るなどして、ある程度共通な技術に関しては代表課題の形とした。従って、必ずしも全分野・領域を網羅していないことを了承いただきたい。

（小此木　研二）

3. 各区分の概要

①バイオ・ナノテクノロジー基礎技術

バイオ・ナノテクノロジー基礎技術は、様々な応用的技術の根幹をなすものである。本稿では、当該基礎技術の今後の方向性を提唱する。

まず、第一の方向性は、分子情報とさらなる高次情報との関係性の解明である。DNA、RNA やタンパク質などを中心とした分子情報において、それら自身の挙動だけでなく、これらの間に存在する相関性に関する情報を収集するとともに、分子レベルより高次な生物学的単位、つまり細胞、組織、器官、個体といったそれぞれの生物学的階層との相関性を解明しようとすることである。これらを実現するためには、より高次な生物階層レベルの情報を分子情報と結びつく形で収集・蓄積し、総合的に整理・統合して、多くの利用者に公開する必要がある。

特に、上記の分子情報とより高次な生命情報の相関性の解明やその成果の共有化は、様々な疾患の発生機序の解明や予防・治療の分野は無論のこと、再生医療、農林水産、エネルギー、環境の各分野に

おいても多くの知見をもたらすであろう。

また、第二の方向性は、生命現象の再構築とその応用が重要になってくると考えられる。現在、特定の生命現象において、どの分子がどのような役割を果たしているかについては徐々に解明されつつあるものの、それらの分子を再集合させて注目した生命現象のエッセンスを再現できるかの検証が重要となろう。これは、関与する分子の種類と挙動等を検証するという手法であるとともに、人工的に特定の生命現象のエッセンスや特徴を再現できるかどうかを検証することによって、統合的に生命現象を理解しようとすることである。これにおいては、医学的手段だけでなく、工学的手段をも用いた生命現象の再構築技術の発展を図るべきである。工学的手法を生命現象の再構築に用いることにより得られる知見は、前記の分子の種類と挙動等の再検証だけでなく、たとえば生体チップによる視力の回復や人工的な神経組織の形成などバイオニクスといった分野においても、従来の再生医療や移植とは異なった医学応用の確立も可能となる。

上記の第一の方向性において述べた情報の共有化の重要性は、第二の方向性においても同様である。本分科会で取り扱うバイオ・ナノテクノロジーに限らず、先端科学技術研究を行うためには、有益な情報の公開・共有による国内外の各機関の協調が必要不可欠である。そのための情報関連技術や体制の整備も急務であると思われる。

（五條堀　孝）

②バイオ・ナノテクノロジー応用技術

生物反応を、核酸、タンパク質という分子レベルでの反応として解析を行い、疾病原因の追及、薬剤の構造モデル化、生体反応のシミュレーション、さらには、触媒酵素のデザイン、機能分子としての核酸、タンパク質の設計などにつなげる新しい技術分野が展開し始めている。

個体レベルで始まった生物反応の理解が、細胞レベルを経て、分子レベルでの精緻な解析ができるまでに技術が進展し、分子を反応素子として取り扱う事が可能となってきたといえる。

それにより、生物反応を化学反応として理解することが可能となり、より効率的な反応素子としての核酸、タンパク質をデザインすることまで視野に入ってきた。

（技術的重要性）

核酸、タンパク質という高分子物質を正確に解析する技術が重要であるなかで、DNA 配列高速決定技術、タンパク高次構造解析技術の進展により、高度な構造情報入手手段は大きく進歩しつつある。

これら機能分子同士の交互作用についても解析が行われ、複雑な生命現象の反応システムを分子レベルの反応の連鎖としての理解する方法も進展している。

さらに、これらの高分子物質を正確に作り出す技術が重要になる。長鎖の DNA 合成技術、生体内で機能している正確な高次構造をもつタンパク質の造成など、重要な研究課題がある。

（社会的重要性）

疾病の根本的な原因の理解、設計通りの構造をもつ分子の設計による有効で、副作用のない薬剤の創製、化学触媒に匹敵する反応性と安定性を持つ生物触媒の製造などを通して、医薬、診断薬のみならず再生可能なバイオ素材からの化成品の製造など、広い分野で重要な技術分野となる。

（将来性）

生物触媒の反応性を構造の最適化によって、画期的に向上させたり、生物反応を論理的な反応メカ

ニズムを示す化学反応として解析できることで、生物反応をデザインできるようになる。それにより、高分子のタンパクや核酸医薬品が普及し、標的分子に構造的に最適に結合する分子が安全で有効な医薬品としてデザインされ上市される。また、化学触媒より反応特異性が高く、安定で最適化された生物触媒による物質製造の適応範囲が画期的に拡大し、バイオ素材を原料とする再生可能な資源、エネルギーの利用が普及する。

（穴澤　秀治）

③バイオ・ナノテクノロジー医療技術

ナノ・バイオ技術は医療に大きな変革をもたらすものと期待されている。医療や薬物治療の画期的発展は、バイオ・創薬情報科学の構築と、ナノテクノロジーに代表される高機能創薬素材や微細加工技術の開発等の、総合の上に成立する。

（技術的重要性）

画期的新薬の開発や薬物治療の高度化においては、薬物の体内動態の精密制御を目指すドラッグデリバリーシステム(DDS)が最も重要な基盤技術のひとつと位置づけられる。一方、非・低侵襲で高機能化された医療デバイスの開発も、医療の高度化に大きく貢献する。

（社会的重要性）

ナノ・バイオ技術は医療の高度化に大きな役割を果たす。したがって、国民の安心・安全の確保を目指す国家戦略の中で、重要研究領域のひとつとして考慮されるべきである。

（将来性）

ナノ・バイオ研究の進展によって医療は大きく変わり、医薬品も単一の生理活性分子としての存在から、多くの機能を統合した医薬品システムへと性格を変えつつある。薬物体内動態の精密制御を通じて最適化治療の実現を目指す DDS 医薬品においても、ナノテクノロジー、MEMS 技術などとの融合が新しい局面を切り開きつつあり、学問領域としてもメゾスケール制御を目指した細胞と材料科学の融合科学技術などが重要性を増すものと思われる。

（その他）

医療研究の推進と社会還元は国家戦略の重要な柱であり、明確、具体的に構想しなければならない。ナノ・バイオ技術を利用した創薬、DDS あるいは人工臓器、身体機能代替人工器官などの治療デバイスの開発は研究の裾野がきわめて広く、また先端的で大きな価値を生み出す。

（橋田　充）

④予防医療・診断

古来、「診立てが良い」医者が名医と言われてきたように、的確な診断は治療の基本である。診断は従来経験によるところが大きかったが、現在では生化学的、物理化学的検査を用いた診断が主流であり、その精度も格段に上昇した。これは疾患の原因・メカニズム解明を可能にした生化学を始めとする生命科学関連技術および測定・分析技術の進歩の賜物である。

一方、予防医療は、生活の質（QOL）および医療経済の両面から、治療以上に重要度が増してきている。近年のゲノム研究の結果、一部の重篤な疾患では遺伝子の一塩基多型（SNPs）検査によって疾患発症を予測することが可能になってきた。生活習慣病においても、複数の遺伝子型から発症リスクを予測す

る試みがなされている。特に治療法、治療薬が確立していない疾患では、早期に疾患リスクを察知し、生活スタイルを変えたり予防治療を施すことによって、疾患の発症を抑制して QOL を維持・向上させることが求められる。

遺伝子診断による発症リスク予測は技術的には可能になりつつあるが、遺伝子検査に倫理的問題が伴うため、社会制度および医療制度の整備なしには普及は難しいと思われる。

（小此木　研二）

⑤治療（外来因子、代謝性疾患、精神疾患等）

現在では優れた医薬品の開発により高血圧、高脂血症、胃潰瘍などの治療満足度の高い疾患がある反面、高齢化社会に向けて治療満足度の低い認知症や統合失調症などの精神・神経疾患や治療満足度に比較し薬剤貢献度の低い各種がん疾患など、現在の治療では未充足なアンメットメデイカルニーズの高い疾患も存在する。また、怒り、攻撃性の増大、衝動性の亢進などの社会的行動障害およびADHD・自閉症などの発達障害についての根本的な治療が要請されているが、現在全く解決されていない。

アンメットメデイカルニーズを満たす画期的な医薬品の開発には、疾患の発症原因の分子メカニズムの解明、創薬ターゲットの探索と疾患関連性の検証を効率的に進めうる先端的な技術開発が必要不可欠である。

また、画期的な医薬品開発の効率化や成功確率の向上には、ヒトでの疾患病態をよく反映する疾患モデル動物の作製、バイオマーカーの同定、ファーマコゲノミクスなど、前臨床段階の基礎研究と臨床段階の患者治療とをむすぶトランスレーショナルリサーチが重要である。

従来の低分子化合物薬や抗体医薬に加え、核酸医薬、細胞医薬や遺伝子治療などにおいて、将来的には種々の技術課題が解決されることにより画期的な医薬品や治療法が開発され、個々人の疾患病態や遺伝的背景に応じて最適な薬剤や治療方法を選択できる医療環境になると予測される。本分野は以上にあげた研究を中心とする。

（加藤　元一郎、古市　喜義）

⑥再生医療

高齢化社会において、臓器や組織を置き換えることが可能な再生医療は、究極の医療として社会の大きな注目を集めている。各種組織に分化する分化多能性を保つ胚性幹細胞（Embryonic Stem cells: ES細胞）の発見により、再生医療の実用化が注目された。更に、国内で iPS 細胞が発明されたことにより、ES細胞で見られた倫理的な問題点を含むことがなく、再生医療の実用化が可能であることが示され、世界的にも注目されている。しかし、再生医療の実現には、iPS 細胞を含む幹細胞の増幅技術や誘導技術の開発が必須であるほか、その培養や保存技術においても技術開発が必要である。一方、開発された技術あるいは製品が社会において適切に評価されるためには、安全性の確保も極めて重要である。本領域は、幹細胞の組織への分化法、培養技術、保存技術、組織の構成方法などから構成される。

（技術的重要性）

再生医療に関わる技術は、再生医療という医療分野だけでなく、人工的な細胞や組織を作ることも可能であり、実験動物の使用を削減することにつながるほか、医薬品の副作用の予測など創薬分野

への応用も期待される。特に、遺伝子疾患の患者から作成した幹細胞では、患者と同じ表現形質を持った細胞は、病因の研究や薬剤のスクリーニング（選別）など治療法の開発に有用である。

（社会的重要性）

再生医療技術は、高齢化に伴い一時的な修復の不可能になった人体の組織を再構築できることから、最終の治療技術として大きな社会的な注目を集めている。パーキンソン病などの神経変性疾患、脊髄損傷、脳梗塞、糖尿病、肝硬変、心筋症など根治療法の無かった疾患が、広範囲に対象として考えられている。

（将来性）

幹細胞の再生医療に応用するためには、特定の細胞への効率的な分化技術、分化した細胞の選択技術、培養技術、保存技術、移植技術、などが、開発される必要がある。また、移植した細胞の拒絶反応の解決も必要である。遺伝子導入技術や多分化能を維持する技術なども必要である。

また、幹細胞を生体外にて増殖させ続けると、染色体変異、遺伝子異常が生じて次第に蓄積していく事が明らかとなっており、がん化するリスクの回避方法が実用化に必須である。

（森下　竜一）

⑦農林水産関連バイオ・ナノ産業技術（機能性食品等を含む）

本研究分野は、農林水産業を基盤とした研究がどのように発展し、またどのような技術が必要とされるかを問うものである。本分類の最重要課題は「食と健康」に関する新技術あるいは、発明である。1990 年に発明された「機能性食品」は、食品が栄養素を供給し、生命活動を維持するためのものという位置づけから、生体機能を調節し、積極的に健康増進、疾病発症を予防するという新しい概念の提起となった。機能性食品は、今や全世界において食品産業の中核的存在となりつつある。

日本は、かつて経験したことのない高齢化社会を迎え、「食」の担う役割は、益々重要となってきた。脳機能、嚥下、咀嚼機能の衰えた高齢者が、自立して食生活を営めるよう、栄養面、嗜好面だけでなく、生理機能調節、老化予防などの積極的向上を目指した機能性食品の開発は、急務である。

また、生活習慣病の拡大は現代先進諸国にとって社会構造をも揺るがす懸案課題である。特にメタボリックシンドロームなど、個人の遺伝的形質に加えて生活環境が大きく影響する生活習慣病の予防には、個人差に適応したテーラーメード機能性食品の開発と実現が、必要とされよう。このような機能性食品の多様化は、食育の重要性をも意味し、各人が健康管理を行い、将来の疾患リスクに適合した予防計画を立てられるような食教育の充実、正しい情報の周知へ向けたネットワーク作りも、取り組むべき課題である。

さらに、アレルギーなどの免疫過敏症が増加しつつある現状から、アレルゲン計測によるアレルゲン除去食品の製造技術の開発や、アレルギー症状を軽減させる食品の開発が強く望まれることも予想される。

栄養学の目的が栄養素の摂取から、健康維持への取り組みに変化している今日、健康維持あるいは、未病状態から病態への変化を遅らせ、結果的に健康増進を実現する機能性食品は、今後も益々重要性が増すと思われる。

機能性食品の開発には、機能性成分の効果に対する科学的な裏付けが必要である。近年進歩しつつあるトランスクリプトーム、プロテオーム、メタボローム解析の技術が、機能性食品の開発をバックアップするであろう。

（阿部　啓子）

⑧エネルギー・環境関連バイオ・ナノ産業技術

資源・エネルギー・環境関連分野を考えたとき、それらは生成・採掘から変換、輸送、貯蔵、利用さらにリサイクル、処理といった長いプロセスとシステムで構成されている。そのプロセスシステムの技術的・経済的不都合や未熟さ・不十分さから環境問題が発生しているという側面があって、これら三者は密接な関係にある。 たとえば、エネルギー分野でいえば、原子力、核融合、バイオマス、太陽エネルギーといった代替技術、新技術の開発が急務とされていて、事実、地球規模で展開が図られている。しかし、ここで大事なことは、どのエネルギー源を使ったところで、上記のプロセスを正しくまわさない限り、類似の問題を繰り返し引き起こすおそれがあるということである。

人類の持続的発展という、長期的視野にたって、資源・エネルギー環境問題をより根本的に解決しようと考えたとき、バイオ・ナノ技術の開発は避けて通れない分野であろう。その典型的な例は人工光合成システムの実現である。植物葉緑体システムをバイオ・ナノ技術を発展させて人工的に作ることができれば、太陽光と水、炭酸ガスから CO_2 削減、食糧（でんぷん）、必要なら太陽エネルギー獲得という上記三課題を一気に解決することが出来る。実際、最近のバイオ・ナノ技術の進歩によって資源・エネルギー・環境関連の諸問題を積極的に解決しようという気運と研究例が急速に増えつつある。遺伝子操作による高速成長・耐寒・耐乾燥植物の生育と資源化、植物からのバイオ燃料やポリ乳酸などバイオプラスチック源の獲得、特定の植物や微生物を使ったファイトレメディエーション・バイオレメディエーション、藻類を利用した太陽エネルギー集光や炭酸ガス固定、白アリによるエタノール、水素生成、アプタマータンパク質によるバイオマイニング（生物鉱山）等々は現在すでに展開されつつある一例であり、将来的には極めて多彩な展開がなされるものと考えられている。生物多様性・生物循環系の必然性・重要性を十分認識した上で、バイオ・ナノ技術による資源・エネルギー・環境問題は人類が解決しなければならない喫緊の課題であり、今後ますます重要な地位を占めるに違いない。

（長田　義仁）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
バイオ・ナノテクノロジー基礎技術（原理、メカニズム）	1	ウイルス変異予測シミュレーションに基づく総合的社会危機管理システムの構築
	2	1分子計測の精度で生体内を分子イメージングできる技術
	3	細胞内外における物質間相互作用の観察、同定、機能解析のための解析技術
	4	20 個以上の糖単位が連なった糖鎖の配列を、分岐やリンケージを含めて自動解析する装置
	5	植物の形態形成、生殖、分化をコントロールする遺伝子ネットワークの解明
バイオ・ナノテクノロジー応用技術	6	メゾスケールにおける細胞と物質の相互作用の制御を基盤とした新しい医療・産業技術の開発
	7	機能状態のタンパク質の立体構造を、簡便かつ精緻に解析する技術
	8	マウスに代表される高等動物のある 1 つの種において、受精卵から成体にいたる分化過程の遺伝子転写カスケードとシグナル伝達カスケードを統合的に解析する技術
	9	タンパク質の高次構造から、タンパク質－タンパク質間の相互作用、タンパク質と DNA や RNA との相互作用、タンパク質と合成化合物の相互作用などを含む生物活性を予測する技術

区分	番号	科学技術課題
	10	抗体の抗原認識機構解明に基づく人工抗体作製技術
	11	薬物の体内動態および作用のシミュレーションを可能とする in silico 医薬品開発技術
	12	一枚の半導体チップ上に数千～数万の反応容器を集積化して多くの生体反応を同時に検出可能にしたナノチャンバーアレイ
バイオ・ナノテクノロジー医療技術	13	アポトーシスの分子機構の解明に基づき、生体内の特定細胞を自由に生存させたり除去したりする技術（がん、生体恒常性維持不全に基づく疾患の治療薬への応用）
	14	外部エネルギー制御やメゾ制御、Micro Electro Mechanical Systems（MEMS）技術を利用して標的細胞内部の特定部位に薬や遺伝子を運ぶナノキャリアシステム
	15	Micro Electro Mechanical Systems（MEMS）技術を基盤として、生体（管腔臓器）内を自走し各種操作を行う診断・治療用マイクロマシン
	16	神経活動を検知し、コンピュータを用いて信号化・処理・伝達することにより、人間の思考内容を再現したり、義肢などを随意的に制御する技術
	17	標的細胞内部の特定部位に薬や遺伝子を運ぶ外部誘導を利用したナノキャリアシステム
予防医療・診断	18	うつ病や統合失調症等の精神疾患の発症を予測する技術
	19	がんや難病の発病リスクを的確に診断するとともに、治療指針を示すための情報をごく短時間に供給するバイオチップ診断システム
	20	認知症およびパーキンソン病類縁疾患の発症を予測する技術の開発
治療	21	エピジェネティックな遺伝子の発現制御による発がん機構の解明と治療法の確立
	22	ヒトの解剖、生理、病態をコンピュータ上に再現したバーチャル患者の活用による疾患発症機構の解明
	23	記憶とシナプス可塑性の関係を含む神経回路網の形成メカニズムの分子レベルでの解明
	24	怒り、攻撃など情動行動の発現調整機構の解明
	25	アルツハイマー病やその他の変性性疾患の原因を分子レベルで解明し、これらの進行を阻止する技術
	26	統合失調症やそううつ病の原因および治療法の分子レベルでの解明
	27	発達障害（広汎性発達障害、学習障害、ADHD）の分子レベルでの原因解明とその治療法の確立
	28	がんの転移機構の解明
	29	がん冬眠療法(がんの発育を遅らせがんと共存する時間を長くすることを目標にする新しい発想の治療法)
	30	自己免疫疾患を治癒させる治療法
	31	神経幹細胞の移植により、脳などの回復を促進する治療法
	32	siRNA などの核酸医薬の全身投与による疾病治療
	33	遺伝病などの原因となる異常遺伝子を個体レベルで修復する技術
再生医療	34	各種チャンネルや受容体を備え、細胞の膜輸送、物質変換、エネルギー変換などの機能を代替し、動物実験を削減する人工細胞の構築技術
	35	iPS細胞を含むヒトの細胞、組織を組み込んだ人工臓器(人工すい臓、人工腎臓、人工肝臓等)
	36	iPS細胞を利用した細胞の再生治療技術の実用化
	37	がん化などのリスクを回避して、iPS細胞を含む幹細胞を機能細胞に誘導し、治療に用いる技術
	38	自家組織を含む臓器を移植するための長期培養・保存技術
	39	視聴覚障害者に視覚または聴覚の代替機能を与える装置またはシステム
農林水産関連バイオ・ナノ産業技術（機能性食品等を含む）	40	環境適応能力（耐塩性、耐乾性、耐寒性）の向上と成長をコントロールすることによる砂漠などでの作物生産・緑化技術の進歩
	41	物質生産のための最小遺伝子セットからなる人工細胞の構築とそれを利用した有用物質生産の技術

区分	番号	科学技術課題
	42	農作業を完全自動化するロボット技術
	43	染色体操作クローン技術による優良形質（耐病性、高成長性）を固定した水産養殖品種の作出
	44	生活習慣病予防を目的とする機能性食品の活用の一般化と、個人のためのテーラーメード機能性食品の開発技術
	45	将来の罹患の危険性を低減する予防食品の摂取が一般化する
	46	アレルゲン計測技術に基づき、花粉症など免疫過敏症の症状を低減させる食品が実用化する
	47	未利用の深海微生物の生理機能を利用した、食品や医薬品等の生産技術
	48	生活習慣病の予防が可能となる、個人の体質に応じた機能性食品
	49	高齢者に特有の、抗酸化機能・脳機能・咀嚼機能の低下を防ぎ、健康な高齢社会を食から支える食品と食事法
	50	味覚と物性を感知、分析する精密食味分析ロボット
	51	DNA チップや分光センサ等種々のセンサで生産現場から食卓まで食品を途切れることなくモニタリングし、有害物質の混入や細菌汚染等を防止するセンサネットワーク技術
	52	エピジェネティクス等の核における遺伝情報リプログラミング機構の解明に基づく、家畜の体細胞クローン作出技術
	53	植物における成長調節物質の生合成、輸送、受容体を介したシグナル伝達機構の解明に基づく、作物・林木の成長制御技術
	54	時期および部位特異遺伝子発現などを利用し、人為的に導入した遺伝子の環境への拡散がない遺伝子組み替え植物
	55	物質生産のための最小遺伝子セットをもった細胞形成技術
エネルギー・環境関連バイオ・ナノ産業技術	56	石油を原料としていた化学ポリマーの半分以上が、再生可能なバイオマス資源由来となる
	57	化学触媒に匹敵するあるいはそれ以上の生産性を示す生物触媒が発明される。
	58	自然界に散布された有害物分解活性をもつ微生物の拡散を制御する技術が確立する。
	59	化学エネルギーを力学エネルギーに変換する運動タンパク質（分子モーター）を利用した高効率のエネルギー変換技術
	60	酸素反応系燃料電池をナノスケールで人工的に再構成する技術
	61	地域農林業資源・有機性廃棄物などを利用する、ゼロエミッションを指向した低コスト農林業・農村の実現
	62	化学合成農薬・肥料の利用を半減させる、生物学的な作物保護法（ファージ、プラントアクティベータ、天敵生物、フェロモン、アレロパシー等）
	63	生育障害や病虫害の発生、鳥インフルエンザ等感染症による家畜の異常を早期に察知するため、圃場・畜舎・養殖池等の環境情報や生物情報をリアルタイムにモニタリングするセンサネットワーク

第4節　No.4 分科会：ITなどを駆使して医療技術を国民の健康な生活へ繋げる

1．検討範囲

No.4 で設定された検討範囲は、以下の通りである。

①安心・安全を目指す医療
- 医療福祉安全のための技術／高度 IT 診断、治療技術（プロセスマネジメント、システム化）／IT、高次脳機能、メンタル、診断を含むリハビリテーション／ユビキタスヘルスケア（疾病関連）
- 地域医療の体系化／地域における医療制度／コレクティブヘルス／プレホスピタルケアシステム／老老介護サービス・制度化／救急医療システム
- 医療ビジネスモデル／医療福祉マネジメントシステム（医療安全、医療技術を活かすシステム）／医療制度の弊害（企業の投資対象にならない）／生命を見守る社会システム
- 心の発達の解明／メンタルヘルス（診断、治験、教育を含む）／社会医学（うつ病等）

②新しい医療技術の創造
- DDS、カプセル内視鏡、インプラントセンサ／バイオマテリアル（高血栓性課題）／バイオマテリアル（生体に治験するまでの壁）／分子イメージング、バイオマーカー／モデル化技術／生体シミュレーション／人体生命シミュレータ／ブレイン・マシン・インタフェース（機能回復）／組織、ティッシュの形態形成／機能再生
- 医工連携／メカトロニクス（人の介護の支援）／工学（ロボット）との融合／介護ロボット等

③予知・予防医療への展開
- 予知医学、予防医学／遺伝情報や生活習慣情報を元にした予防医学
- 新たな疫学／サイバー、デジタルコホート／感染症（パンデミック）

④医療の新しいレギュラトリサイエンスに向けて
- 治験の空洞化／治験・臨床へのヘッドクオータ（治験推進センター、大学病院）／治験　病院整備／治験コーディネータ
- レギュラトリサイエンス（規制科学）／医療情報、報道に対する審査システム／機械対応の限界（制度改善の必要性）／iPS 細胞と薬事問題
- トランスレーショナルリサーチ（基礎から臨床へ、拠点整備）

⑤医療の社会システムエンジニアリングへの展開
- 保健医療福祉の統合化（統合化技術、システム化）／データベースの整備／生涯電子健康情報／保健、医療データの統合／地域ヘルスレコードの収集（地域医療計画への活用）
- 医療・健康教育の信頼性／医療の人的資源の適正配置（制度と技術との融合）
- その他（医療廃棄物、リサイクル活用（サーマル含む）

2．要点

（1）国民が期待する「疾患を克服する医療技術」の発展

生命科学の発展とともに、近年医学、医療は急速に発展した。ゲノムを始めとする網羅的分子情報による個別化医療、1 分子のイメージングにも迫る機能的な医用画像、再生医学、人工臓器や福祉工学など、先端的医科学の発展はとどまることを知らない。

医療技術は、経済的リスクや災害リスクなどとなんで、疾病に対するリスクに対する社会の安全・安心の技術として国民の期待は過剰なほど大きい。がんや脳卒中・心筋梗塞などの common disease から神経・筋難病、さらに精神疾患、さらには感染症に対する社会防衛まで、その完全克服は長年の国民の願いである。これらに対する課題として、下記 3－①の大分類 1 では「安心・安全を目指す医療」と題して疾患克服を主とする課題を抽出した。疾病の克服のためには、既存の技術の組み合わせや適応だけでなく、「新しい医療技術の創造」が期待される。したがって、下記 3－②の大分類 2 では、近未来に出現すると思われる医療技術を主に掲げた。とくに新たな技術のなかでも、「疾病を予知予防する医療技術」への期待は大きい。したがって、下記 3－③の大分類 3 では特にこの点を区別して取り上げた。

(2) 先端医療技術と社会システムのミスマッチ

しかし、一方でこれらの医療技術の発展に対して、これらを現実の医療・福祉に生かすべき土台となる環境の整備が様々なスケールで遅れているのも事実である。医療技術は、医療以外の他の分野の先端技術のように、イノベーティブで経済性がある技術であれば、自然に競争的に社会に普及するというものではない。技術の対象がヒトという生物的・社会的存在であることに起因して、先端技術が解決あるいは適合しなければならない様々な段階の局面・制約がある。

最も医療技術よりの局面においては、基礎的な医科学の知識や技術を実際の臨床応用に移行させるときに必要なサイエンス――トランスレーショナル（臨床移行）研究の問題がある。マウスなどで得られた実験的医生物学的研究における発見は、そのまま臨床医学へと移行できない。ヒトという集団の疾病に対して有する多様な性質が、治験科学など「基礎医学と違った論理をもったサイエンス」の発展を要求する。

さらに、先端医療技術を取り巻く環境に広く注目すると、ヒトを対象とした技術であることに必然的に伴って、先端医療技術が、生命倫理、また医療をとりまく制度や社会規範など、「倫理的・法制的・社会的（Ethical Legal, Social）なシステム」、一言でいうと「社会システム」のなかにおいて適応される技術であるという制約がある。そして、わが国の医療先端技術の発展に近年立ちはだかっているのは、この局面での問題、すなわち「先端医療技術と社会システムのミスマッチ」である。

(3) 新しい医療レギュラトリサイエンスと社会システムエンジニアリングの必要性

いまやわが国においては、技術としての医療とその社会システムがうまく適合していない状況にある。例えば、日々報道される医療安全、産科・救急医療の問題、あるいは海外の新薬が利用できないドラッグラグの問題、さらには医師不足が起こす地域医療の崩壊や高齢者医療制度など、わが国における医療制度のシステムとしてのミスマッチは限界まで来ているといえる。

本分科会では、この問題を 2 つに分けた。まず、生命倫理の不十分性・法規制の不適合が起こしている医療技術とのミスマッチの観点から、下記 3－④の大分類 4 では、「医療の新しいレギュラトリサイエンス」の必要性を掲げた。トランスレーショナル研究、治験の科学や制度、遺伝医学や再生医学の生命倫理などの課題を掲げた。つぎにさらに広くわが国の「医療システム」全体を大きく構造改革する必要性の観点から、下記 3－⑤の大分類 5 には「医療の社会システムエンジニアリングへの展開」の課題を掲げた。ここでは、地域医療・医療制度、日常生活圏医療、健康教育など、医療先端技術を生かす「医療社会システム」の課題を抽出した。

医療分野においては、必ずしも楽観的に先端技術の発展のみがすべてを解決すると思われない。それを社会に生かすレギュラトリセイエンス、社会システムエンジニアリングが重要である。

（田中　博）

3. 各区分の概要

①安心・安全を目指す医療

医学そしてこれに関連する技術が飛躍的に進歩した一方、医師の偏在など新たな問題が生じている。すなわち技術の進歩に対し、システムの整備などが追いつかず、医療への安心・安全が問われる時代となっている。その解決のためには医療のみならず医用工学、IT などの関連する領域の最先端技術を適切に活用することはもちろんであるが、医療ビジネスモデルの構築が不可欠である。また、今後の多様化する社会に対応できるメンタルヘルスの充実も非常に重要と考えられる。これらの観点から本領域は、将来的に更に発展が期待される医学・医療を、国民が安心してその恩恵に浴することができる様に、安全に提供することが可能な社会を実現することを目標とした研究領域と位置づけられる。

（研究の重要性と社会的貢献）

高度の IT 技術の進歩は、医療診断機器の飛躍的発展をもたらしたのみならず、個人の健康データの蓄積、医療機関における情報の共有化などを可能とした。しかしながら一方、個人情報保護に関する法整備を始め実際の医療現場で用いるためには解決すべき問題も多い。そのような幅広い観点から医学・医療を捕え、患者の主体である高齢者を視野に入れ、現在の医療へ鋭く踏み込むべく、安心・安全を目指す医療を本分野のメインテーマとした。具体的には医療福祉安全のための技術開発、高度 IT 診断、適切なリハビリテーションの提供、心の発達の解明、メンタルヘルスの充実などをキーワードとして取り上げ、これらに関係する課題の選定に努めた。本領域の問題の解決のためには、最終的には経済面が最優先される医療制度の抜本的な見直しが必要で、自然科学の問題と言うよりも社会科学と相俟っての研究、それを実践する展開が望まれ、それにより高度に進歩した医学・医療が、真の意味で社会の安心・安全に寄与できると思われる。

（木村　彰男）

②新しい医療技術の創造

【次世代の治療】

次世代の治療は、生体のもつ機能を可能な限り温存させ、目標とする異常細胞をより高い精度で認識し、正常細胞に影響を与えずに異常細胞を摘出、ないしは機能回復を促進させる治療、すなわち標的治療が中心となる。その実現のために異常細胞を検出するバイオマーカー、分子イメージング、インプラントセンサなどを開発し、より精密で確実な治療を行うために治療前の病態解析や治療計画、さらにナビゲーション治療を可能とするモデル化技術、生体シミュレーション、人体生命シミュレータの開発を行う。生体内に長期埋め込むためのバイオマテリアルや、DDS、生体内観察や治療を可能とするマイクロ技術の開発を行う。さらに、機能回復のためのブレイン・マシン・インタフェースや組織（ティシュ）の形態形成、機能再生を促進する技術を開発する。

（技術的重要性）

工学的によりミクロの治療用機器製作の技術、抗血栓性マテリアルの製造技術、動的目標物の動態を予測する技術、生体、とくに神経系と人工物とのインタフェースの技術、組織再生や機能再生を促進する技術などは、未だ世界中が競争して開発している段階であり、次世代医療を可能にする極めて重要な要素技術である。

（社会的重要性）

いずれも従来の治療法を根本的に変える全く新しい手法となるもので、人への精神的、肉体的侵襲の少ないアプローチで、高い生活の質（QOL）を維持した上に、より効率的かつ効果的に治療を行えることから、高いコストパフォーマンスが得られ、世界へ広く普及することが期待できる。

（将来性）

生体組織と対話しながら生体機能を調節し、生体の組織再生を促す治療法の開発や、全く生体表面に傷をつけずに治療を行うなど、未来型医療を可能とする超低侵襲治療法の確立は、超早期診断治療の普及を加速させ、疾患の重症化の予防、医療費の削減、健全な医療経済への貢献が期待され、国民の健康寿命の向上が図られる。

【超高齢化社会に向けて】

我が国は超高齢社会を迎え、がん、脳疾患、心疾患などの生活習慣病患者が急増し、高齢者は社会と隔絶した余生を送らされ、社会にとっては医療費の高騰と若者の納税負担増が予測されている。しかし、高齢者は自宅に閉じこもるのではなく、社会に貢献することで生きがいを実感することができる社会、健康を享受できる社会を実現するために、自律を支援するロボットを開発する。さらに、少子高齢化に伴う人口の減少に加え、3K（きつい、汚い、危険）の分野での人手不足が叫ばれる中で、介護などの重労働者を支援するロボットを開発し、劣悪な労働環境の改善に貢献する。また、ロボットと人とが安心して共存できる安全な社会を構築するために、ロボット共存のためのリスク管理法を確立する。これらの実現のためには、従来以上に緊密な医工連携が必要となる。

（技術的重要性）

我が国は産業用ロボットの技術は世界一であるが、人と共存できるロボットの開発はまだ世界中が開発途中の段階である。特に、福祉・介護領域でのロボットは人と密に接触して動くことから、ロボットの機能だけでなく、素材、外観、形体、感触、安全性、社会的規制など開発・検討すべき技術要素がまだ多く、その技術の開発は今後の福祉社会の発展にきわめて大きな重要性をもっている。

（社会的重要性）

高齢者の歩行や、衣食住の基本的動作を支援できるロボットを開発することは、高齢者が積極的に社会に出て何かに貢献できることで生の喜びを感じ、生きて働くことによる生き甲斐を実感できるようになる。結果的には、平均寿命ではなく、健康寿命の向上や医療費の削減に貢献できる。

（将来性）

人と共存して働くことができるロボット技術の開発は、単に技術革新が促進するだけでなく、健康寿命が向上し、安心安全な福祉社会の基盤が構築される。また、さらなる技術力向上のために、遅れているこの分野の人材育成が促進され医工連携が強化される。

（橋爪　誠）

③予知・予防医療への展開

少子高齢化に伴い、我が国の医療費の実情は大きく様変わりしてきている。中高年者に比べて高齢者の医療費は数倍多くかかるうえ、医療費を負担するもの（主に生産年齢人口）と医療費が重点的に支給されるもの（主に高齢者人口）とのバランスも崩壊しつつある。今後、高騰の避けられない国民医療費を圧縮するために、そして何よりも国民ひとりひとりが健康に長生きをするためにも、予知・予防医療がわが国

の医療の大きな柱となる。

多くの病気は、親から受け継いだ素因（遺伝要因）と環境要因の両者が影響しあって生ずる。環境要因のなかで、生活習慣などの改善可能なものを、個人個人に合わせて管理・指導することが、集団全体を対象とした予防医療の第一歩である。そのためにゲノム情報やバイオマーカーを用いた易罹患性診断法やリスク評価法の実用化並びに療養指導の効率性向上が期待されている。

病気の原因として、素因、すなわち遺伝子の異常が大きな比重を占め、環境要因への曝露の回避努力だけでは必ずしも十分に対応できないものも少なくない。病気の成因と病態に関する理解を深めることにより、その自然経過を分子レベルでモニタリングして重症化を予測し、発症ないし重症化予防のための介入法の開発と、適切な介入時期の決定等に役立てることも、広義の予知・予防医療の課題である。さらに究極的（かつ根治的）には、責任遺伝子の異常が、重篤な健康障害を生じさせない、あるいは増悪させないための、予防的な措置として遺伝子治療の活用も試みられている。

感染症は病原体という環境要因が発症の鍵を握る病気と位置づけられる。抗生物質などの抗病原体薬の開発により、治療成績は目覚ましく向上したものの、依然として感染症は大きな脅威である。その適切な感染経路の同定・遮断、あるいは効果的な薬剤投与法の確立は、感染の蔓延を予防し、安全な生態系・社会環境を保持するうえで重要な課題である。環境中の（ヒトの健康に対する）攻撃因子は病原体のみでなく、様々な微量環境汚染物質への対策も、疾病予防として重要である。

上述したような、予知・予防医療への取り組みには、技術の開発とともに、個人レベルでの意識の変革、社会レベルでの倫理的基盤の整備（特に遺伝情報の扱いや遺伝子治療の実施）等が必要である。そのうえで、個々人の素因と環境要因に関する情報を継続的に追跡できるシステム（新たな疫学コホート）構築が、予知・予防医療の開発並びに実践には不可欠である。

（加藤　規弘）

④医療の新しいレギュラトリサイエンスに向けて

日本は今や世界トップの科学技術力があるにもかかわらず、先進医療を社会が享受できない現状に苦しんでいる。一方、諸外国では、自国の医療技術開発や研究を自国の責任のもとで行い、その利益を自国民に最初に還元する方針で進めている。世界保健機関（WHO）は 2009 年 5 月の総会で「臓器移植は自国で完結させるべき」との指針を決定する。そのため、これまでの日本の政策のようにリスクは海外に取らせ、利益のみ享受するといった姿勢のままでは、日本は国際社会から完全に孤立することになる。

この要因として、日本社会は科学的な根拠よりも世論といったマスコミによって形成される多数決的な判断基準を重視する傾向にある。特に健康・医療分野ではその傾向が根強く、科学的な根拠を軽視した議論が繰り広げられている。例えば、検出不可能な年齢の牛を検査対象に含めた狂牛病の全頭検査や、投与してない患者と統計学的有意差がないにもかかわらず異常行動による転落死のスケープゴートとされた抗インフルエンザ薬など類挙にいとまがない。前者は経済的損失ですむものの、後者は投与拒否による病状悪化のリスクをかかえる事態を引き起こしている。これらは社会全体がリスク・ベネフィットバランスの中で事象を判断し受容すべきものを、ゼロリスクを求める余りにベネフィットを無視した結果を招いている。このゼロリスク至上主義の弊害が最も現れているのがリスクの受容が必須の手術や出産の現場であり、「医師の現場撤退」というリスク回避手段によって医療崩壊を招いている。

新規治療薬や新規治療機器の開発もリスク・ベネフィットバランスによる判断が必要である。治療は診断と比較して格段にリスクが高く、かつ薬事承認という高いハードルを乗り越えなければならない。リスクを

抱えた各プレーヤー同士や市民との間に科学的コミュニケーションと合意形成の場が不在であれば、それぞれのリスクを回避する消極的な行動をせざるを得なくなる。そして、全体として最も安易なリスク回避である海外製品・海外治験依存スパイラルに陥っている。そのために日本は優れた要素技術を持ちながら、医薬品・医療機器の開発や製造能力は低下し国産の医療産業は崩壊の危機に直面している。以上の要因が複合して、現代の日本社会は、少子高齢社会における国民の安全保障の崩壊と国益の損失は免れない状況にあるといって過言ではない。

（伊関　洋）

⑤医療の社会システムエンジニアリングへの展開

「保健・医療・福祉・介護」は社会の重要なシステムの1つであり、その質の維持は社会の安寧を維持する上で必須のものである。高齢者人口の増加、疾病構造の変化、景気の後退と国家の財政悪化により保健・医療・福祉・介護それぞれの社会における重要性が変化している。国民の要求は、診断と治療を中心とする医療だけではく高齢者に対する介護やリハビリテーションの充実、がんや糖尿病に代表される生活習慣病や遺伝性難治疾患の発症予防、少子化対策としての養育環境の整備へと拡大している。そのため、医療水準を維持するための今までの医療費に加え、保健や介護分野への経費が上積みされ、総医療費は増大し続けている。理想的未来社会とは、このような社会の急激な変化に迅速に対応できる社会システムを有する社会と言えよう。その実現には、保健・医療・福祉・介護のそれぞれの機能を担う組織集団の再編成とそれを維持する有能な人材の育成、必要な財政投資、設備や環境に関する資源の最適化が必要である。また、個人、家族、地区、地域のレベルで保健・医療・福祉・介護を支援する技術が求められる。

具体的には、保健・医療・福祉・介護の各分野で使用されている情報処理の標準規格化を基礎として、個人に対しては超小型の生体センサ技術や生活支援ロボット技術、家族に対しては保健教育や家族の健康情報管理に必要なデータベース技術や介護支援ロボット、地域に対しては安全な情報ネットワーク技術、人と人のコミュニケーションを支援するインタフェース技術など日本が世界に誇る産業技術があげられる。それらの保健・医療・福祉・介護分野への応用が環境関連産業と同様に内需拡大のみならず次世代の新しい社会生活支援システムとして結実されることが期待される。

上記を踏まえ、本分類では、保健・医療・福祉・介護の社会の中での機能向上を期待される技術として情報工学技術を中心に取り上げ、さらに人材の育成、教育、医療情報提供、医療廃棄物に関する技術を対象とする。

（小山　博史）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
安心・安全を目指す医療	1	機能予後予測に基づいた脳卒中リハビリテーションの確立
	2	進行性神経筋疾患、難病に対する予防リハビリテーションの確立
	3	ウイルスを標的として分子レベルで無力化するナノマシン
	4	慢性疾患の病態システム的把握に基づくシステム制御的薬物療法（システム創薬）の方法論の確立
	5	進化的医科学の確立による疾患発生の進化的理解――進化医学の確立
	6	がんの薬物耐性検定法

区分	番号	科学技術課題
	7	標的とする感染症に対する特異性と持続性の高い免疫学的治療法
	8	血液幹細胞移植後の免疫応答を制御する技術
	9	神経幹細胞の移植による、運度麻痺機能回復評価法の開発と、回復を促進する治療法の確立
	10	胚性幹細胞を用いた筋再生および臓器再生技術
	11	生体内での信号伝達や代謝などの機能の可視化技術
	12	HIV 感染を根治させる治療法
	13	家禽類における高病原性鳥インフルエンザの人への感染の予防・治療法
	14	臨床における生殖医療の確立（不妊症対策）
	15	高齢者の脳機能の低下を抑制し、痴呆を防止するシステム
	16	生体内の任意の位置にある1mm 以下のがん組織の検査技術
	17	1分子計測の精度で生体内を分子イメージングできる技術
	18	細胞内外での多数の物質間相互作用を観察と同時に対象物を同定し、その物質の分布形状をモニターする技術
	19	臓器、組織の移植における拒絶反応の早期診断法
	20	ウイルス性肝疾患を治癒させる薬
	21	医原性日和見感染を激減させる、患者の感染防御能を阻害しない抗がん薬・免疫抑制薬
	22	プリオン病の治療法
	23	がん治療に有効な放射線治療および評価方法の確立
	24	個体の老化機構の解明
	25	精神発達障害の治療法の確立
	26	精神神経疾患の早期診断・早期治療法の開発
	27	精神的ストレスの定量化技術
	28	登校拒否、学級崩壊、学習障害等を引き起こす脳のメカニズムの解明に基づく対処方法
	29	通常のコミュニケーションが取れなくなっている青少年に対して、対面でのコミュニケーションがなくても社会性の育成を可能にする科学技術システム
新しい医療技術の創造	30	3 次元的細胞組織構築技術による人工臓器の形成
	31	シミュレーション技術により状態を観測し、治療法を確立する治療システムの確立
	32	自家組織の保存・増殖・移植法
	33	完全埋込型内分泌臓器
	34	病気等による意思疎通手段障害のある人に対する脳活動等を利用したコミュニケーション支援技術
	35	磁気誘導等のコンバインドデバイスによるドラッグデリバリーシステム（DDS）
	36	人体に埋め込まれ、体温や血流などの生体エネルギーを利用して、健康状態のモニターや治療を行うことができる医療技術
	37	血液中の希望する成分を選択的に除去する血液浄化器
	38	完全埋込型人工腎臓技術
	39	完全埋込型人工心肺
	40	人工血液
	41	マイクロマシンを用いた体腔内治療技術
	42	高齢者および障害者の生活支援ロボットを含めた知的コミュニケーション型住環境の整備
	43	高齢者および要介護者等の機能評価と訓練機器の開発
	44	ロボット技術の応用に関するリスク管理法の確立
	45	高齢者化社会対応を視野に入れた感覚機能を備えた義手・義足

区分	番号	科学技術課題
予知・予防医療への展開	46	網羅的分子（オミックス）情報や生涯継続的生体情報に基づいた予知医学（早期診断、長期疾患発症予測などに基づいた健康・疾病管理）
	47	慢性疾患の重症化過程の始まりを予測する網羅的分子情報技術
	48	安全性が確立された遺伝子治療法
	49	血液幹細胞の増殖・分化の制御による血液病治療法
	50	生活習慣病のリスクを正確に反映するバイオマーカーに基づく療養指導
	51	ゲノムによる疾病の易罹患性診断法
	52	がんを効果的に予防する化学予防薬（chemopreventive drugs）
	53	自己免疫疾患の発症予防法
	54	アトピー性皮膚炎などのアレルギー疾患を根治させる治療法
	55	重度遺伝性疾患の発症予防システム
	56	先天性疾患の遺伝子治療
	57	単因子性疾患に対する薬物療法の代替としての遺伝子治療の活用
	58	神経変性疾患の予防と治療
	59	医療社会および医療都市（高齢者の居住地域など）の設計技術の確立
	60	新興感染症の流行を初期段階で早期に予測する方法論の確立
	61	微量環境汚染物質の生体への影響の解明とこれに基づく対策
	62	感染症における薬剤耐性克服の有効な戦略
	63	生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展による病気や災害等の予測
	64	病原体の同定と薬剤感受性の評価が1時間以内でできる自動機器
	65	空港や港において輸入感染症の感染者・保菌者をほぼ完全に検出できる体制
医療の新しいレギュラトリサイエンスに向けて	66	地域格差を是正できる迅速対応可能な地域医療制度の整備
	67	治験の総合的管理・推進を支援する知的情報管理システムの確立
	68	倫理に基づいた、遺伝子および多形性に関する情報の管理技術の確立
	69	再生医療の臨床応用への倫理システムの構築
	70	安全，安心な医療への対価を保証する診療報酬制度の確立
	71	我が国独自の医療標準化(Japan Medical Standard)制度の確立
	72	医療の質と資源の至適マネッジメントを可能にする医療社会制度モデルの確立
	73	大規模人体生化学モデルによるシミュレーションに基づいた薬剤治験（Insilico 治験）
	74	生命倫理問題を対象とする、多面的で多数の国民が参加する国民的討議（public debate）が実施され、生命倫理と研究活動との調整の方式についての合意が形成される
	75	トランスレーショナル・クリティカルパスを支援する情報システムの確立（基礎医科学から臨床への橋渡し過程のギャップを埋める情報支援システム、事例データベースなど）
	76	がんの転移を抑止する抗転移剤
	77	がんの転移機構の解明
医療の社会システムエンジニアリングへの展開	78	医療と介護のシームレスな連携に基づいた地域医療提供システムの構築
	79	日常生活圏で全生体情報をモニターして健康を管理するユビキタスモニタリング医療
	80	地域包括的ケアを可能にする統合的医療システム（生涯継続的地域 HER）
	81	生活習慣病及び高齢化に対する予防・対応のための家庭医学教育システムの整備
	82	ゲノム情報による個別医療促進のための一般向け健康教育システムの拡充整備
	83	医療従事者への医哲学教育制度の確立
	84	医療従事者のためのシミュレーション医学教育法の確立
	85	リサイクルを含む一貫した医療廃棄物処理システムの構築と産業育成

第5節　No.5 分科会：宇宙・地球・生命のダイナミズムを理解し、人類の活動領域を拡大する科学技術

1．検討範囲

No.5 分科会で設定された検討範囲は、以下の通りである。

①地球診断技術
　大気圏を含む地球全体の常時診断技術（地球の表層、内部を常時モニターする）
②宇宙・海洋管理技術（観測を含む）
③未来の科学技術を先導するフロンティア領域
　未開発・未利用技術、脳のニューロンマッピング（素粒子研究との関連）
④生物・生命（起源）
⑤宇宙素粒子（宇宙科学を含む）
⑥人工構造物（巨大システム技術）
⑦宇宙技術（宇宙医学を含む）
　有人宇宙技術、衛星技術、宇宙産業基盤技術、ロケット・輸送、宇宙探査、新しい宇宙利用の創出、地上システムとの連携とそれに必要なシステムインテグレーション技術

2．要点

（1）概説

地上にへばりついて数千年のあいだ文明時代を過ごしてきた人類は、近年、大気圏と海洋・地球内部を含む地球全体に探査の足を伸ばし、20 世紀には地球の外に出た。それは地表を二次元的に拡大していった人類が、一歩その枠を超えていわば三次元的に活動領域を広げていく歴史であった。人類の作った探査機は、遂に私たちの太陽系の果てに届くまでになっている。加えて、太陽系外に他の惑星系を発見した 1990 年代以降は、科学の目が「もう一つの地球」に鋭く注がれるに至っている。

現在は、生命科学の飛躍的な進歩を友としながら、137 億年前に生まれた宇宙の物質の進化の歴史が、筋の通ったシナリオに沿って私たちのいのちまで綿々とつながっており、それは、依然として解明されていない謎を無数に内包しながらも、ひとつながりの一貫した流れを持つ物語として私たちの前にある。この偉大な成果は、現代社会の最も重要な「いのちの尊厳」というテーマに根本的で鋭い切り口を与えるものとなっている。

とはいえ、現在進行している地球環境の変貌は、活動領域の拡大によって得られた新たなデータから、一層の深刻さを帯びて明らかにされ、地球上のすべての生き物の未来にとって容易ならざる状況にあり、人類が解決を迫られている喫緊の課題の一つであることが広く認識されている。

私たちの住むこの地球の環境についてできるだけ生々しい状況を明らかにすることと並んで、その地球をその内と外からグローバルに見ることによって、20 世紀の人類は環境問題に新たな地平を拓いた。今ではフロンティア（宇宙及び海洋）からの視座は、環境の議論にとって不可欠の要素となっていることに異論を唱える人はあるまい。こうして、「宇宙と地球と生命のダイナミズムの理解」と「人類の活動領域の拡大」は、不可欠に結び合いながら、現代の科学技術を先導する重要な課題の一つとなっている。

(2) 本分科会で検討した分類(キーワード)の技術的重要性と位置づけ

「地球のダイナミズムの理解」においては、大気圏・海洋・地球内部のそれぞれについて引き続き研究・探査の努力を継続することはもちろんであるが、それらの全体を常時モニターする「地球診断技術」として追究する段階に来ていると考えられる。

フロンティアとしての視座からすれば、「宇宙と生命のダイナミズムの理解」については、近年データの著しい蓄積の見られる宇宙医学を含む「宇宙技術」が必須であり、加えて、極限環境における「生物・生命」を起源という視点から大切な課題として設定しよう。

そしてすでに世界レベルにある宇宙科学に継続的に取り組むと同時に、めざましい発達を見せて自然についての基礎知識にブレークスルーをもたらしつつある加速器の技術を採り入れて「宇宙・素粒子」という分類(キーワード)を設定することが適当であろう。

実践的には、生命活動のより深い理解をも視野におさめた「宇宙・海洋管理技術」という課題が浮かび上がってくる。その課題の実行に当たっては、さまざまなシステムを統合する技術を含んだ「人工構造物」というテーマも必要となるだろう。

宇宙と海洋を中心とする活動は、「人類の活動領域の拡大」を志向し、21 世紀における「未来の科学技術を先導するフロンティア領域」として位置づけることができる。

(3) 本分科会で検討した分類(キーワード)の社会的重要性と位置づけ

現在解決の行方が見えない核兵器廃絶問題や地球環境危機などは、すぐれて政治的な課題として措定されているが、これは人類全体の危機ととらえるべきであり、その立場から見るならば、「地球診断技術」「宇宙・海洋管理技術」の重要性が理解される。

また、東西冷戦が終結したと言われて以降に現出している世界において、人類は「いのちの尊厳」が恒常的に脅かされる事態にある現在、宇宙進化の道筋により深い認識を加え、その進化の最先端にいる生物・生命の持つ意味をより真剣に探究する段階に来ている(「生物・生命」「宇宙・素粒子」)。

すでに無人飛行を太陽系の端まで、有人飛行の射程を月まで延ばした人類は、地球の表層にとどまらず、その探査の足を深海にまで伸ばしつつある。「宇宙・地球・生命のダイナミズムの理解」のためにも、また将来の有人飛行に備える太陽系環境のダイナミズムの理解のためにも、「人工構造物」「宇宙技術」をより洗練されたものに仕上げることが必須である。

宇宙・海洋を中心とする「いわゆるフロンティア領域」は、単なる「分野」ではない。それはさまざまな分野を立体的に組み立てて初めて成り立つ総合的な性格を持っている。それが、「未来の科学技術を先導するフロンティア領域」について、科学戦略・技術戦略を野心的に策定すべき理由である。

(4) 本分科会で検討した分類(キーワード)の将来性

人類の未来がいかなる経過をたどる展開になるにせよ、その運命がその「人類の活動領域の拡大」と緊密に結び合うものになることは疑いを入れない。

また我が国は,「しんかい」や「ちきゅう」による深海底の探査、小惑星探査機「はやぶさ」、太陽観測衛星「ひので」、月周回衛星「かぐや」など、高度なミッションを連発することによって、フロンティア領域において世界的にも主導的な立場にたっている。素粒子分野の世界的な貢献も注目される。

したがって、フロンティア探査の本格化は、わが国が国際的にも主導すべき政策であり、それは、次世代の国家・世界・人類の進歩に貢献する重要な道である。広域的で長期の立場に立ってフロンティア領域に関する百年の大計を策定することが、日本の科学技術の将来を真に明るいものにしていく保証であ

る所以である。

（的川　泰宣）

3．各区分の概要

①地球診断技術

地球は46億年の歴史の中で、さまざまな環境変動を経験してきた。38億年前に誕生した生物は、その後の大絶滅を乗り越えて進化を続け、また、氷河期や温暖期は幾度となく繰り返されている。日本列島は、4 つのプレートがせめぎあう場所にあるために、地震や火山噴火などが活発に起こっている。このような地表付近の変動は、地球内部のダイナミックな動きによって引き起こされる。現在の地球内部のダイナミクスについては、地震波観測、マグマの解析、深海掘削で採取される堆積物や岩石の解析、海底・海域観測ネットワーク観測、室内超高圧実験、大規模シミュレーションなどにより、「固体地球システム変動モデル」を作り上げることを目指す。

地球表層環境変動を捕らえる為に太平洋、インド洋、ユーラシア大陸、北極海などにおいて、海洋、陸域、大気の観測を行う。観測データの蓄積と解析により、数年から数万年単位の地球環境の変化とそのメカニズムを捉える。この目標は未来の地球の姿の予測だけでなく、天気予報や漁獲量の変化の予測などに関しても重要な情報を提供する。

例えば、エルニーニョが発生するのかをできるだけ早く予測したり、現在、進行している夏季における北極海の海氷の急激な減少のメカニズムを探り、地球温暖化や気候変動の理解や予測に迫る。

海は人間が現在排出している CO_2 の 30%から 50%を吸収している。海に CO_2 を蓄積すれば、地球温暖化予測が大きく変わる可能性があり、海中の CO_2 の挙動の観測が必須である。人類は、大気、海洋、陸域そしてその中で育まれてきた生態系からさまざまな恩恵を受けている。CO_2 などの温室効果ガスの急激な増加や、環境汚染による生態系の破壊などによって、地球環境に重大なダメージが与えられている。

即ち地球の環境は、海洋や大気、陸域で個々に発生する現象がそれぞれ影響を及ぼし合うことによって、バランスが保たれている。そのため、地球表層環境変動、地球内部変動、及び、環境変動の間のリンケージを明らかにすることにより長期環境変動メカニズムのシステム理解に到達し、以て、自然の気候変動や人類文明活動による地球温暖化など環境の変動をより精密に予測する。

（木下　肇）

②宇宙・海洋管理技術

国土が狭く資源に乏しい我が国にとって、排他的経済水域（EEZ）の海洋空間の活用は、将来に亘る国力の維持、少子高齢化社会の経済活動の基盤として重要である。このような、海洋空間あるいは宇宙空間の開発や、そこで社会・経済活動を維持するための利用技術・管理技術は、いわゆるハイテクとは別種類の新規技術として重要である。すなわち、個々の技術・システムとしては既知で地上・陸上においては確立され実績があっても、未知の部分が多く苛酷な環境下で十分な信頼性をもち、必要な機能が確実に発揮されるために必要となる技術や手法が求められている。

「宇宙および海洋の利用・管理技術」では、主として、このような立場で将来を予測する際のキーテクノロジーをまとめた。

これらは、宇宙または海洋に特有の目的を達成し課題を解決するための技術と、地上や陸上とは異なった状況において問題となる課題または制約の解決を対象とする技術とに大別される。対象の宇宙空間は無重力の大気圏外であり、海洋空間は空気と水との組成と密度の差異に由来する高圧や暗黒空間であり、ともに人間の生存・行動が制約され、それを克服するための技術が必要となる。また、現代のシステムや先端的な技術の中核となるIT技術の適用に大きな制約があるとともに、遠隔操作や自律型作動、ひいては人間が扱うよりも高い信頼性が必要なことも一般的といえる。

人類社会や地球環境の諸問題の解決は先送りが出来ない課題である。従って、その時代で利用できる最適の技術を選択し組み合わせて多様な機能をもつ複雑な機器・システムまたは構造物を作り上げるための設計手法や合理的・効率的な保守管理手法等も強く求められている。このような総合化技術は、産業や技術の総合力で規定され規制される。一方、一つのブレークスルーにより飛躍的に進歩することも特徴であり、シーズとニーズとが密接に関係していることも多い。

宇宙と海洋は人類に残された最後のフロンティア空間といわれて久しい。近年、わが国においても宇宙基本法及び海洋基本法が制定され、科学的な調査研究とともに人類の活動範囲を拡げるための技術開発の環境が整備されつつある。宇宙探査も地球深部探査も地球の起源を解明するために重要である。海洋は地球生命の発祥の場所であり、生命の起源を明らかにする上でも、温暖化をはじめとする気象変動の予測にとっても、全地球規模の環境保全にとっても重要である。その意味で、人類が存在する限りの将来にわたってこの分野の技術の進歩が求められる。

（不破　健）

③未来の科学技術を先導するフロンティア領域

粒子線は最も精密に物質の構造を探査できるプローブである。近年、粒子線発生技術と粒子観測技術が著しく向上しており、このような技術による物質構造解析を通して、生命現象の解明や新薬開発を含む新物質の開発が進んでいる。

将来は、粒子加速器から発生される様々な種類の粒子のビームエネルギー・強度の向上、ビーム収束技術やハンドリング技術の向上、粒子検出器における位置と時間分解能の飛躍的向上により、高温超伝導物質に代表される物質構造の解明、DNAの転写現象の詳細の解明に代表される生命現象の解明、病気診断や治療及び新薬開発に代表される生命科学・医学応用などに大きな進展が期待される。同時に、加速器技術の進歩は、原子炉から出る不要放射性物質処理の研究に新しい可能性を開き、また、超伝導技術、精密電子回路の開発、高速情報処理技術などの様々な関連技術の革新を生み出す。また、近年再び注目を浴びている大強度レーザ光発生技術の進歩は、粒子加速、医学、産業利用に新しい可能性をもたらすであろう。

（高崎　史彦）

④生物・生命（起源）

地球の表面の約 70%が海であるが、海面下にはさらに深い世界が広がっている。海面から 200m 以上深いところは深海とされ、海の約 95%が深海である。この広大な深海における生物の生態や種の保存についてはまだ殆ど知られていない。深海や海底、さらには海底下の地殻にも生命は存在しており、地上の環境とは全く異なる暗黒・高圧・高温（または低温）の極限環境の世界での生物の生態は謎に包まれている。例えば 300℃以上の熱水を醸す深海底熱水噴出孔や、海底下深くの地殻内に高温や高圧を好む

微生物が数多く存在している。人間の生存がが不可能な極限環境では原始生命に近いものが数多く在するため、それらの生命力・生存メカニズム・環境応答性・生態系統に関する研究は生命力の根源を探る上で大きな役割を果たす。このような極限環境は、地球上で生命が最初に誕生した約 42 億年前の過去の原始地球の環境に近いと考えられ、そこに存在する微生物の遺伝子情報を解析することは、生命の起源の解明につながる可能性を秘めている。

また、深海底や地殻内に存する新種の微生物が数多く発見され、極限環境で生息する微生物の特性を応用して化学・食品・材料等の産業に役立てることは今後ますます必要となると推定される。

なお、未だ確証は得られていないものの、地球外生命体に関しても同様な考えが適用できるとされている。

（木下　肇）

⑤宇宙素粒子

【素粒子研究】

人類は、19 世紀末の電子の発見以来、粒子加速器や粒子検出装置などの助けを借りて、肉眼では見ることのできないミクロの世界を明らかにし、物質と力に対する概念を次々と書き換えてきた。そして、今日においては素粒子の標準理論が作られるまでになってきた。しかし一方、クオークやレプトンの種類の意味、クオークやレプトンに見られる大きな質量の違い、重力の理解や超対称性などの新しい自然法則の検討など様々な謎や課題が残されている。

粒子線は最も精密に物質の構造を探査できるプローブである。近年、粒子線発生技術と粒子観測技術が著しく向上しており、このような技術による物質構造解析を通して、生命現象の解明や新薬開発を含む新物質の開発が進んでいる。粒子加速器と粒子測定技術は素粒子・原子核・原子・分子に関する新しい知見の獲得に大きく寄与し、人類にとって欠くことのできない文化的財産になっているとともに、X線などの粒子線の医学応用、PET などの医学利用、物質構造解析への応用、ブラウン管や構造物の非破壊検査のような民生応用など様々な形で粒子線加速技術が実社会に応用されている。

将来は、上記「③未来の科学技術を先導するフロンティア領域」でも述べたように、粒子加速器から生成される様々な種類の粒子は、既知の素粒子や原子核の更なる解明のみならず、ダークエネルギー、ダークマター、高温超伝導物質、生命現象などの解明や医学への応用等への寄与が期待される。また、加速器技術の進歩は、不要放射性物質処理、超伝導、精密電子回路、高速情報処理等の各技術分野の革新を促し、さらに、大強度レーザ光発生技術は、粒子加速や医学の研究と産業利用に新しい可能性をもたらすと考えられる。

【宇宙科学】

20 世紀の大きな科学史上の金字塔の一つにビッグバン宇宙理論の確立がある。近年の驚くべき発見としては、宇宙は膨張速度を加速させており、加速を可能にする未知のエネルギーが存在すること、また、宇宙のほとんどが正体不明なダークエネルギーやダークマターで満ちており、我々の身の回りにある様々な原子などは宇宙のエネルギーの数%にすぎないということがある。人類は、加速器からもたらされる素粒子・原子核の研究と宇宙の研究を通してこの謎の解明に挑戦するであろう。新しいパルサー、ガンマ線バーストなどの発見が毎日のように宇宙からもたらされている。一方で、宇宙初期の古い課題である宇宙線の起源と加速メカニズムの理解、重力波の観測、ブラックホールの観測などの多くの課題が残されている。

宇宙ステーションなどのように宇宙空間に観測装置を置くことや、宇宙・地上の様々な観測装置の連携などを含む革新的な計測手段を駆使することにより、宇宙における様々な現象の解明に挑戦し、宇宙について人類に新しい知見がもたらされるであろう。

（高崎　史彦）

⑥人工構造物（巨大システム技術）

巨大システム技術とは、海洋や宇宙など人を簡単に寄せ付けない作業環境下で、時間的にも空間的にも大規模複雑なシステムを実現する技術であり、高信頼性、頑健かつ再構成可能な巨大複雑システムを合理的かつ効率的に実現する総合技術である。

（技術的重要性）

概念検討、解析、設計、開発、試験、輸送、管理、運用に亘るすべての項目を統合的に捉え、極めて多数の厳しい制約条件を満たしつつ、厳格に選択された多様かつ高機能な要求を実現するための設計概念と方法論が要求され、未来の新しい構造物システムを構築する際に必要不可欠である。

（社会的重要性）

海洋や宇宙は人類の究極的フロンティアであり、本技術はその探求を実現するための必須技術である。この技術を開発応用することで、人類の活動領域が拡大し、さらには、それ故に、陸上や地球上で人類が存在・生活することの根源的意味を本質的に理解することに役立つ。

（将来性）

本技術は、未知の部分を含む多数の要素システムからなる複雑システムを構築する、最も高度に人類の英知が必要不可欠な統合システム技術であり、海洋や宇宙だけでなく、陸上における様々な分野にも安全安心を確保する上でますます必要とされる。

（その他）

日本は、要素研究・要素開発技術に関しては世界に冠たる成果を誇るが、それぞれの要素関係を定義して、高度な機能を実現するためのシステム設計に関しては欧米の後塵を拝している。すなわち、日本は、戦後の様々な制約のために、部品点数にして 100 万点をはるかに超える巨大複雑システムを恒常的に開発生産する機会を有しておらず、システム設計能力を持つ人材が決定的に欠けており、結果的に、その重要性が理解されにくい社会となっている。安全・安心を真の意味で確保するには、多数のシステムからなるシステムを構築する知恵を身に付ける必要がある。

（松永　三郎）

⑦宇宙技術

宇宙についての知識は人類にとっての知的財産であり、また宇宙空間を利用した安全・安心で豊かな社会の実現への貢献がますます求められるようになっている。そのため宇宙・太陽系の起源、構造及び進化の理解を深める宇宙科学・宇宙探査の推進や地球環境の長期変動の把握、防災、国土保全・管理、食料・資源確保などに向けて宇宙を活用した貢献を図っていく必要がある。また人類が宇宙へ進出し、活動領域を拡大するために有人宇宙活動も継続していく必要がある。

これらの推進のためには、ロケットや宇宙往還機などの宇宙輸送技術、観測センサや衛星技術、宇宙科学・宇宙探査関連の技術、有人宇宙船や宇宙医学などの有人宇宙技術、デブリ対策技術等について

研究開発を進めて行くことが必要である。

（技術的・社会的重要性）

宇宙技術分野の研究開発にあたっては、太陽系外生命の探査など未知の領域へチャレンジし、独創的な技術やシステムを研究開発することや、多様化する宇宙利用のニーズに応えるために超小型宇宙機や自律型宇宙機などの革新的な技術開発への取り組みが必要であるが、これらを通じて新しい技術の創出を牽引し、未来の科学技術を先導することや人類の夢の実現、より安心で安全な暮らしの実現、エネルギーの確保、経済の発展など社会への大きな貢献が期待できる。

宇宙技術の発展を通じて技術の変革をもたらすことにより、国内宇宙産業の国際競争力が高まり、我が国の経済発展に大きな貢献をもたらす可能性があるため、宇宙産業は将来の我が国の基幹産業の一つとして成長することが期待されている。また、優れた科学技術を用いた国際貢献も我が国の国際社会への貢献として非常に有効とされており、宇宙技術はその利用が地球規模という広範囲に亘って可能であることから、今後大いに活用されるものと思われる。特に、アジア・太平洋地域のリーダーとして我が国が宇宙技術を活用し、この地域の環境問題の解決や安全・安心で豊かな社会の実現に向けて貢献していくことは大いに重要である。

（小澤　秀司）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
地球診断技術	1	生態系と人間環境を含む地球表層系の多目的モデリング
	2	温室効果ガスと大気汚染物質の高精度全球観測システム
	3	雲・水蒸気・風の高精度・全球観測システム
	4	地球表層系の高分解能・高頻度観測システム
	5	海洋観測の多目的観測、全層、高密度展開
	6	雲と降水系モデリングの精緻化と常時観測技術を利用した総合的陸面管理システム
	7	太平洋・インド洋の季節気温変動の 5 年予測を可能とする予報・予測技術
	8	日本海溝から三陸沖・東北地方東地域、南海トラフから東海・東南海・四国沖地域周辺の地殻深部歪力変動を測定し広報する技術とシステムの構築
	9	航空機或いは人工衛星から取得できる情報により、陸域で地下 100m 以深の地質構造を推定する技術
	10	投下式ブイ等により試料の採取、測器の設置・回収等を機動的に行うメッシュの細かい海洋観測体制
宇宙・海洋管理技術（観測を含む）	11	風、波、潮流等の海洋エネルギー利用技術の高度化
	12	熱水鉱床などの海底資源の回収技術
	13	海底面全域の高速度音響画像マッピング
	14	活動を停止した過去の熱水活動の発見手法の開発
	15	衛星―無人ブイを経由した海底活動テレメトリー
	16	マルチプル AUV による広域自動観測網の確立
	17	EEZ 内全域海底ケーブルネットワーク観測網の確立
	18	cm／年以下の海底面移動を海上から計測する技術
	19	セラミクスを用いた軽量大型耐圧容器の開発
	20	音響画像による高解像度遠方撮影装置
	21	EEZ 内どこでもブロードバンド

区分	番号	科学技術課題
	22	海底面を通した熱や CO_2 の全球的収支の観測
	23	防災のための沿岸急潮流の観測と予測
	24	湧昇流を利用した生物資源増殖技術
	25	陸海シームレス観測
	26	コバルトリッチクラスト開発技術開発
	27	水・金・火星の周回による表面および内部観測技術
	28	打ち消し型干渉計やコロナグラフなどの技術を用い、太陽系近傍の星の周囲にある木星型惑星を、直接に撮像できるようになる
	29	水中で数百 m 先の物体の形状を識別できるセンサ
	30	深海底に恒久的な地球物理観測拠点を設置し、これらをネットワーク化することにより、地球深部探査の解像度を飛躍的に増大させる技術
	31	自律型深海重作業ロボット
	32	深海化学合成生態系による海洋へのエネルギーと物質寄与を高精度に見積もる技術
	33	深度 15km、温度 400℃を基本仕様とする掘削時、同時計測が可能なビット技術の確立
	34	CO_2 を海中に溶解あるいは海底下に固定する技術
	35	生物学系列の技術のほか多岐にわたる工学技術を導入して最適な環境管理が行われる海洋牧場
	36	海水中に溶存している酸素や水素を取り出してエネルギーを生み出す海水エンジン
未来の科学技術を先導するフロンティア領域	37	Extremobiosphere(地球極限環境生命圏)の再現実験設備の建造に着手する
	38	深海生命圏(海陸を含め地下5km まで進む)自立ロボット建造に着手する
	39	生命の起源を原点とする太陽系惑星生態系再現シミュレーション手法が完成する
	40	DNAの転写過程などの生命現象解明および新薬開発ために、フェムト秒の時間分解能・ナノメータの位置分解能をもって解析を行うX線技術
	41	新記憶媒体や新高温超電導体の開発のために、X線、中性子線、ミュー粒子線などの量子ビームを用いて各種化学反応過程を詳細に観測する技術
	42	人間の思考現象の解明ために、外部より導入する微弱な放射線を用いてニューロンのマッピングおよび動作観測を行う技術
	43	現在の光通信の 100 万倍高速の大容量通信を惑星探査衛星等と行うための量子通信技術
	44	深海や地中の資源探査や環境調査を目的とした、非常に高い周波数の振動波や重力波などの新原理により、深海や地中の人や装置との通信を可能にするシステム
	45	全システムが密閉(大気とのやり取りが無い)で可搬型、一回の燃料補給で出力 10kw を一年間出し続けることが可能な燃料電池
	46	電力をマイクロ波またはレーザで地上に伝送する宇宙空間太陽光発電所
生物・生命(起源)	47	微小海洋生物(微生物、プランクトン等)の識別が可能な 3 次元画像解析システム
	48	100MPa(=ca 1000 気圧)、300℃、Ph 1-7(強酸)の環境(温泉地域の地下 1km を想定)で生命体を培養・飼育する大容量(1000 liter を超える)空間の環境安定保持技術の開発
	49	海洋の生態系についての数値モデルの確立
宇宙素粒子(宇宙科学を含む)	50	宇宙空間における超高精度での宇宙測量技術の開発と超高精度観測の実現(ダークマター、重力波、サブミリ波帯、遠赤外線、可視光、X線、ガンマ線など:各種宇宙天文台)
	51	宇宙ニュートリノ、超高エネルギーガンマ線、ダークマターなど、検出の難しい素粒子を探索する技術が格段に向上し、大きな進展が得られる
	52	粒子加速機器技術が格段に進展し、自然界に対する人類の基礎知識(宇宙の起源、物質と反物質の非対称性、元素の起源など)にブレークスルーがもたらされる
	53	レーザ加速などの新しい加速原理に基づく粒子加速器が実現し、超高エネルギー現象研究と素粒子研究の手段を獲得する

区分	番号	科学技術課題
	54	超高速、超大容量計算機が実現し、素粒子・原子核の理解が格段に進み、宇宙創成や星の進化などに関する人類の知見が格段に深まる
人工構造物（巨大システム技術）	55	超軽量・高収納率・高精度の 100m 級展開大型宇宙アンテナの建造技術
	56	超多数編隊飛行を駆使した大規模宇宙システムの建造技術
	57	有人・月惑星探査用3次元展開型高剛性構造物の建造技術
	58	有脚または浮遊式構造物を主体とする海上プラットフォーム(交通、通信、生産、活動基地)のシステム設計を行い、モデルプラットフォーム建設に着手する
宇宙技術（宇宙医学を含む）	59	我が国の宇宙機器（輸送系・衛星系等）の競争力・信頼性の向上（低コスト化、高ロバスト性など）
	60	超小型宇宙探査機による惑星探査および星間飛行技術
	61	地球外生命の検出技術の向上（低コスト化、ロバスト性など）
	62	日本独自の有人宇宙輸送システム（有人ロケット、有人宇宙船）の開発
	63	地球周回軌道の宇宙観光旅行（教育文化活動を含む）
	64	月面及び軌道上における有人活動拠点の建設と関連技術（宇宙医学、生命維持技術、月利用技術等）の開発
	65	恒久的有人月面基地（月からの科学観測、月の科学、資源の利用技術開発等）
	66	自律型宇宙システムに向けた宇宙機修理技術、宇宙探査技術等の開発
	67	デブリ問題の抜本的対策技術（デブリフリーの宇宙システム、既放置デブリの回収または大気圏投入処理など）

第6節　No.6 分科会：多彩なエネルギー技術変革を起こす

1．検討範囲

No.6 分科会で設定された検討範囲は、以下の通りである。

①原子力エネルギー
②核融合エネルギー
③化石エネルギー
　メガインフラ、石炭、ガスタービン、大型発電〈火力〉、変換技術、CCS、コプロダクション〈ガス化〉
④再生可能エネルギー
　太陽、風力、水力、地熱、メガソーラー
⑤水素
　大規模・分散型
⑥燃料電池
　SOFC、ハイブリッド型、固体高分子型
⑦エネルギー輸送
　電力輸送（メガ、次世代グリッド）、物質輸送、熱輸送、統合型インフラ
⑧低炭素エネルギー貯蔵
　バッテリー（二次電池）、貯蔵（水素貯蔵、物質貯蔵、ガス貯蔵）
⑨低炭素型移動体（自動車、船、電車、飛行機）
⑩エネルギーマネジメント
　HEMS、BEMS、マイクログリッド、パワーエレクトロニクス、グリーン ICT
⑪低炭素製造技術・コプロダクション
　バイオマス、ヒートポンプ、革新的製造プロセス
⑫省エネルギー
　ヒートポンプ、次世代照明、省エネビル・住宅・IH
⑬その他技術開発における評価ツール等

2．要点

No.6 分科会では、低炭素社会において我が国がイニシアチブをとるための「多彩なエネルギー技術変革を起こす」科学技術課題を検討した。特に、エネルギー関連の科学技術課題は、産業プロセスや社会基盤と関わるものであるが、本分科会においてはエネルギーの発生から利用までを対象とした。これらの検討においては、ボーダレス化、エネルギーセキュリティ、そして低炭素化といったキーワードを意識した。以下、本分科会の検討範囲である 13 区分を示す。

①原子力エネルギー
②核融合エネルギー
③化石エネルギー
④再生可能エネルギー

⑤水素
⑥燃料電池
⑦エネルギー輸送
⑧低炭素エネルギー貯蔵
⑨低炭素型移動体
⑩エネルギーマネジメント
⑪低炭素製造技術・コプロダクション
⑫省エネルギー
⑬その他技術開発における評価ツール等

（柏木　孝夫）

3．各区分の概要

①原子力エネルギー

平成 20 年 6 月に国が発表した「低炭素社会・日本を目指して」において、2020 年までにゼロエミッション電源の割合を 50%以上に向上させることが目標に掲げられている。この目標を達成するに当たって、発電時に CO_2を排出せず日本において総発電電力量の約 3 分の 1 を占める基幹電源である原子力発電は、地球温暖化対策として現実的かつ重要な技術である。さらに、我が国のエネルギー自給率は、原子力を除けば約 4%（原子力を含めると約 20%）と低く、原子力はエネルギーセキュリティを確保する上でも重要なエネルギーである。したがって、将来を担う先進的な原子力発電技術の開発や放射性廃棄物対策技術の確立などが期待されている

【将来を担う先進的な原子力発電技術】

世界標準を獲得し得る次世代軽水炉は、国・電力会社・メーカーが一体となって開発を開始しており、これまで培ってきた軽水炉の建設・運転技術を生かし、世界最高の稼働率実現やプラント寿命の向上、安全性・経済性の同時実現などをコンセプトとしたプラントの開発を目指している。今後、2030 年頃に見込まれている国内代替炉建設需要に対応できるよう技術開発を推進していく必要がある。また、代替炉建設に伴い廃止される商用原子力発電所の扱いも課題であり、安全性を確保しつつ経済性を実現する合理的な解体撤去技術の早期確立が求められている。

高速増殖炉（FBR）サイクル技術は、消費した以上の燃料を生み出すことができ、限りあるウラン資源の半永久的な利用を可能とする技術であり、エネルギーセキュリティの問題を解決できる技術である。また、放射性廃棄物の大幅減少を可能とすることから、核燃料サイクルを確立する上でも重要な技術である。

中・小型熱電併給原子炉は、途上国や島嶼国等における中小規模需要への対応を目指した技術であり、コンパクト化や安全性・経済性の向上が課題であり、ニーズに応じた技術開発が期待される。

世界的に原子炉需要は高まりを見せており、上記技術で世界標準炉の位置づけを獲得することは、我が国の国際競争力確保および技術力による国際貢献の観点からも重要である。

【高レベル放射性廃棄物対策技術】

原子力発電の使用済燃料を再処理した後に残る高レベル放射性廃棄物は、日本ではガラスと混ぜて

固化処理しており、高レベル放射性廃棄物貯蔵施設に保管されている。我が国ではそこで 30～50 年程度冷却のため貯蔵を行った後、地下 300m 以深の地層中に処分(地層処分)することを基本方針としているが、処分の実施主体が調査地区を公募しているものの最終処分地が決定していないという現実もあり、高レベル放射性廃棄物の削減技術や地層処分技術の開発が課題である。

高レベル放射性廃棄物の削減技術としては、放射性廃棄物処理・処分の負担軽減及び資源の有効利用のために、高レベル放射性廃棄物に含まれる元素や放射性核種を分離・変換する技術があり、その開発が期待されている。

地層処分技術には、安全評価手法の高度化や経済性の向上等の課題があり、深地層研究施設などを活用した研究開発を進めることが、地層処分の技術的・社会的信頼性を向上させる観点から重要である。

（武藤　昭一、山下　英俊）

②核融合エネルギー

核融合エネルギーは 21 世紀半ばの実現を目指す将来のエネルギー源の一つとして有望な選択肢である。核融合発電炉は磁場閉じ込め方式と、レーザによる爆縮反応を利用した慣性核融合方式がある。磁場閉じ込め方式については、臨界プラズマ試験装置（JT-60）等による第二段階（科学的実現性）を経て、第三段階（科学的、技術的な実現可能性の実証）の中核装置である国際熱核融合実験炉（ITER）の建設活動が、2007 年より日欧米露韓中印の 7 極の国際協力によって進められている。

（技術的重要性）

磁場閉じ込め方式の実現のためには、数億度の高温高密度のプラズマを磁場で長時間閉じ込める技術、高い発電効率と燃料増殖の機能を有する発電ブランケットの開発、高エネルギー中性子の照射に耐える構造材料の開発などが特に重要な課題である。

ITER 計画においては、政府間の国際協力事業として2018 年のファースト・プラズマを実現というマスター計画に従って進められる。我が国においては、「21 世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化の目処を得る」とする原子力委員会決定の推進施策に基づき、ITER 計画において、ⅰ）自己加熱領域での燃焼制御の実証、ⅱ）核融合エネルギー増倍率5以上の非誘導定常運転の実現、ⅲ）運転・保守を通した統合化技術の実証と安全技術の確認を行う必要があるとしている。

（社会的重要性）

核融合発電炉の利点は、ⅰ）重水素、リチウム（トリチウム生産材として）等、地球上に多く存在する資源を燃料として利用すること、ⅱ）核融合反応そのもので高レベル放射性廃棄物をしない、プルトニウムの発生・利用を伴わないこと、ⅲ）原子力発電炉と同様、運転中に CO_2 を排出しないことなどが挙げられる。

（将来性）

ITER 計画の開発成果、及びITER計画と並行して行われる工学技術開発やJT-60 改造装置等を用いた先進技術の開発成果を統合し、2020 年代初頭には第四段階（原型炉によるプラント規模での発電実証）への移行を目指して研究開発が進められている。

さらに将来、超プラズマの生成、保持技術が進展すれば、環境保全・安全性、燃料資源、高効率エネルギー変換を視野に入れた DT 反応（重水素【D】、3重水素【T】の核融合反応）以外の核融合反応を利用した炉システム構成も可能になるものと期待される。

（武藤　昭一、山下　英俊）

③化石エネルギー

今日、地球規模での気候変動が問題となっており、世界的に低炭素社会への移行が求められている。しかし、現在の世界エネルギー需要の約8割は化石エネルギーが占めており、この割合は 2030 年でも変わらず、かつ人口増加に伴いエネルギー消費量は増大すると推定されている。このような状況のもと、地球環境問題に対応し、かつ増大するエネルギー需要をカバーするためには、化石エネルギーの利用効率向上や CO_2固定化・有効利用技術の実現、未利用エネルギーや資源の有効活用、などを図る必要がある。

【化石エネルギー高効率変換技術】

超々臨界圧発電技術（A-USC）、1700℃級高効率ガスタービン、石炭ガス化発電と燃料電池の組み合わせ発電（IGFC）、セラミックスマイクロガスタービンなどの技術課題がある。化石資源を用いて発電を行う場合、燃焼ガスや蒸気を高温・高圧化することで発電所熱効率を向上させることが CO_2排出量削減に有効である。さらに、エネルギーセキュリティや経済性の観点から、今後利用増大が見込まれる石炭に対しては、CO_2排出原単位が他の化石エネルギーに比べ大きいため、一層の熱効率向上が期待できる複合発電技術の開発を進める必要がある。

【CO_2分離・回収・貯留技術（CCS）及び CO_2固定化・有効利用技術】

化石資源の利用に伴い排出される CO_2対策として、排出源から CO_2を分離・回収し、地下帯水層や枯渇油・ガス田などに貯留する技術（CCS）が期待されている。直接 CO_2 排出量を低減できる技術だけに、確立できればその効果は非常に大きいため、効率よく分離・回収する技術や長期的に安全に貯留する技術の開発が重要となる。また、分離・回収された CO_2 の植物・炭酸塩への固定や化学品への変換など CO_2固定化・有効利用技術の開発も並行して進める必要がある。

【未利用エネルギーや資源の有効活用技術】

超重質重油等の活用技術、メタンハイドレート利用技術、コプロダクション・コプロセッシング技術などの課題がある。化石エネルギー資源には限りがあるため、その効率的な利用を進めるのはもちろんであるが、国産資源に乏しく、エネルギー海外依存度の高い我が国では、エネルギーセキュリティ、エネルギー多様性などの観点からも、現状未利用の化石エネルギーを経済的かつ有効に活用する技術の開発も進める必要がある。そのためには、我が国周辺海域にも存在が確認されているメタンハイドレートの採掘・利用技術の開発や、石炭やバイオマス、廃棄物等の多原料から、電力、合成燃料および化学原料を併産する産業融合型革新的プロセス技術等、経済的な原料の有効活用技術の開発なども重要である。

（武藤　昭一）

④再生可能エネルギー

化石燃料による発電には、資源枯渇の問題や温暖化ガス排出などの課題があり、原子力発電の高度利用とともに太陽光発電、風力発電に代表される再生可能エネルギーの活用が大きく期待されている。日本では福田ビジョンに基づき 2030 年に累積 53GW の太陽電池を導入する計画であるが、これは全発電量の 5%に相当する。海外でも、例えば国際エネルギー機関の報告書では、再生可能エネルギーへの期待が大きく取り上げられている。

（技術的重要性）

発電の脱炭素化は、様々なアプローチを必要とするが、再生可能エネルギーはその有力手段の一つである。太陽電池に対して、製造に要するエネルギーが膨大という批判も過去にあったが、現在では製造工程の短縮化・簡素化により製造エネルギーを減らし、同時に変換効率が上がったため設置後 2 年程度で製造エネルギーを回収できる。変換効率は、結晶系で 20%程度だが量子ドットなどの検討が進められており、理論予測通りに 40%を超える効率が達成されれば、回収は更に短期となる。また、日照条件の良い地域で大規模な太陽熱発電システムや我が国のような海洋資源に恵まれた地域での各種海洋エネルギーの実用化に向けた取り組みがなされている。

（社会的重要性）

従来の「発電時に温暖化ガスを排出しない」という温暖化抑制の切り札としての位置づけに加えて、昨今の深刻な不況の中で、「環境技術なくして成長なし」の認識が高まり、投資や雇用創出など経済活性化のドライビングフォースとして、研究開発に留まらない動きになりつつある。

また、エネルギー安全保障の点からも再生可能エネルギー源を国内に蓄積していく意義は大きい。化石燃料の価格が生産量や国際情勢に左右されるのとは異なり、再生可能エネルギー源の場合、発電コストは技術進歩によりさらなる低下が期待される。

（将来性）

世界中で膨大な投資と頭脳がこの分野の研究開発に流れ込んでおり、いつどこで従来技術のブレークスルーや革新的技術が誕生するか読めない状況である。

また、再生可能エネルギーを大量導入すると系統電力に不安定性をもたらす可能性も指摘されているが、同時にスマートグリッドと呼ばれる高度な需給制御機能を有する次世代グリッドの検討も進められており、間欠的な再生可能発電の本格導入を支援する技術開発が国内外で国家プロジェクトとして立ち上がりつつある。

（その他）

技術的なポテンシャルを十分に発揮し普及するためには、研究開発・事業への投資と同時に、適切な政策による普及支援が必要である。

（浅野　浩志、中川　泰仁）

⑤水素

我が国が G8 洞爺湖サミットで提示した、「世界全体の温室効果ガス排出量を 2050 年までに半減以下にする」という目標達成には、運輸部門や家庭部門の低炭素化が不可欠である。燃料電池自動車や定置用燃料電池に利用する水素を高効率かつクリーンに製造・輸送・貯蔵するための技術や、再生可能エネルギーの利用、CCS との組合せにより製造した水素を燃料電池自動車などの燃料として利用することにより、CO_2 削減に大きく貢献することが期待できる。我が国にとっては、エネルギー供給源を多様化することによるエネルギー安全保障の確保、新規産業・雇用創出による産業競争力強化の効果も期待でき、内閣府総合科学技術会議「環境エネルギー技術革新計画」、ならびに経済産業省「Cool Earth エネルギー革新技術計画」において、重点的に取組むべき革新技術の一つとして位置づけられている。

【CO_2 回収・貯留（CCS）技術との組合せによる化石燃料を原料とした CO_2 フリー水素製造技術】

水素社会の導入期において、先ずは経済性と安定供給の両面に優れた化石燃料由来の水素の利活用を拡大することが不可欠である。化石燃料から大規模に水素を製造する技術は成熟技術であるが、製造時に生成する CO_2 を分離回収し、地中または海底地下に長期間にわたり隔離・貯留する CCS 技術と

組合せることにより、化石燃料を原料としながら大気中の CO_2 放出を大幅に抑制することができる技術開発に取組まれている。水素の原料となる化石資源としては、従来の天然ガスだけでなく、石炭やバイオマスなどの多様な炭素資源を活用し、ガス化した水素/CO_2 混合ガスから、低コストに効率よく CO_2 を分離回収可能な分離膜材料の研究開発が進展している。

【革新的水素貯蔵材料技術】

水素社会実現のためには大量の水素をコンパクトかつ効率的に輸送貯蔵する技術が不可欠である。特に燃料電池自動車に大量の水素をより安全・簡便・効率的かつ低コストに貯蔵するための技術として、「水素吸蔵材料」が注目を浴びている。現状性能では実用化には十分ではなく、実用化・普及のためには、水素貯蔵能力の大幅な性能向上が必要とされており、水素貯蔵量が少なくとも 5wt%、望ましくは10wt%を越え、水素放出温度が 100℃前後で、かつ十分な耐久性を有する革新的水素貯蔵材料の開発が課題とされている。これら材料開発にあたっては、全く新規な貯蔵材料探索とともに、大強度陽子加速器のパルス中性子源を利用し、原子レベルでの水素貯蔵メカニズムの基本原理を解明する基礎的研究や、それに基づく応用技術のブレークスルーを目指した取組みが不可欠で、日米欧で取組まれている。

【太陽光で水を分解する水素生産プロセス】

本格的な水素社会への移行にあたっては、水素製造原料の低炭素化が不可欠である。太陽光発電等の再生可能エネルギーで生じた電気エネルギーで水を電気分解する水素生産プロセスは、製造時の CO_2 放出がほぼゼロであることから、究極の水素製造技術の一つである。水電解技術がキーテクノロジーで、アルカリ水電解や固体高分子といった技術について、効率や耐久性、経済性の向上が課題として取組まれている。また、バイオマスからの水素発酵生産法や、光合成水素生産などの生物化学エネルギー利用の水素生産プロセスについては、効率の良い発酵菌や光合成代謝経路の解明など、基礎的研究が盛んになされている。

【原子力・太陽熱・地熱等を利用した超高温水素製造技術】

本格的な水素社会への移行にあたっては、水素製造原料の低炭素化が不可欠である。原子力・太陽熱・地熱等の超高温の熱エネルギーを利用し、熱化学反応によって水素を製造する水素製造プロセスは、製造時の CO_2 放出がほぼゼロであることから、究極の水素製造技術の一つである。高温ガス炉で発生する高温核熱や太陽光集熱炉などの熱源を利用した水素製造プロセスが基礎研究・実証研究として取組まれている。

【CO_2 フリーな再生可能水素の国際需給ネットワークの確立】

CO_2 フリーな再生可能水素に本格的に移行するにあたっては、サンベルト地帯のメガソーラー発電や大陸周縁部の洋上風力発電など、地球規模で豊富に存在する低コストの再生可能エネルギー源の有効活用が不可欠である。これら大規模な再生可能エネルギー資源の賦存地域は大消費国とは必ずしも一致しないため、再生可能水素が国際的に流通する需給ネットワークを確立する必要がある。そのためには、液体水素や有機ハイドライドなど高エネルギー密度の水素輸送媒体を大量に積載可能な VLCC（大型タンカー船）など、水素の大量輸送システム技術が不可欠であり、要素技術研究が取組まれている。

【国内の低コスト水素供給を可能とする水素輸送・貯蔵技術】

水素の輸送技術としては、トレーラーによる圧縮水素輸送、液体水素輸送、有機ハイドライドによる輸送に加えて、パイプライン輸送がある。鋼製容器を用いた圧縮水素輸送は既に実用化されているが、一

層の高圧化や軽量化が不可欠で、CFRP 複合容器を用いた大型の高圧容器の技術開発に取組まれている。液体水素輸送については液化プロセスの効率化や液体水素ローリー/コンテナの断熱性能の向上が課題である。パイプライン輸送に関しては水素脆性に強い材料開発が課題である。2020 年頃に 3～7 円/Nm^3 の輸送コスト実現が目標とされている。

水素の貯蔵技術としては、高圧ガスによる貯蔵、液体水素による貯蔵、水素吸蔵材料による貯蔵がある。高圧および液体水素に関する技術課題は輸送技術とほぼ同様である。水素吸蔵材料による貯蔵技術としては、材料探索や耐久性の向上、ハイブリッドタンクの開発が課題となっている。

供給インフラとしては、初期には化石燃料改質器や小規模の圧縮水素ボンベをガソリンスタンド等に併設した水素ステーションが導入され、水素需要の拡大と、技術進展に伴い、水素パイプラインや高圧水素輸送との最適組合せにより、全国規模の水素供給インフラが構築される。現在のガソリン等価以下まで水素価格を低下させることが目標とされている。

（吉田　正寛）

⑥燃料電池

わが国におけるエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題などの解決には、国全体での省エネルギー推進とともに、新エネルギー技術の開発に積極的に取り組むことが課題とされている。燃料電池は高効率かつ環境性が高いシステムを実現可能な、上記問題解決のキーテクノロジーであり、「Cool Earth エネルギー革新技術計画」において定置用燃料電池システムが重点的に取り組むべきエネルギー革新技術に位置づけられている。

【次世代携帯機器・ネットワーク向け小型燃料電池】

ユビキタスネットワークや安全安心ネットワークなどの IT 技術の進展に伴い、次世代型携帯機器や見守り・介護ロボットなどがネットワークと融合し、社会の隅々にまで普及することが予想される。これに伴い、現在の二次電池に代わり、より小型・大容量で長時間作動可能な電池・電源が求められ、高エネルギー密度の液体燃料を、直接的に電力に変換可能な、ダイレクトメタノール燃料電池（DMFC）等の小型燃料電池の研究開発が進展している。DMFC の高性能化にはいくつかのブレークスルーが必要とされ、メタノールの透過を防ぐ無機・有機コンポジット電解質膜や、電極（触媒）−燃料−電解質の 3 層界面をナノスケールで規則的に構造制御し触媒活性を向上させる研究、高濃度のメタノール燃料を適用可能とする高メタノール酸化活性触媒の研究、メタノール以外の新燃料（DME、エチレングリコール、エタノール、ビタミン C、ブドウ糖等）を用いた直接形燃料電池の研究が進展している。

【溶融炭酸塩形燃料電池による中・大規模発電】

溶融炭酸塩形燃料電池(MCFC)は現在実用化されている最も発電効率の高いシステムである（47%LHV 以上）。また高温排熱を活用し更に発電を行う（タービンコンバインド）実証が行われており、60%LHV 以上の高効率を目指した技術開発が進められている。また、MCFC は CO_2 を高濃度で回収できる特徴を有する。将来の低炭素社会実現に向けて、タービンコンバインドと CCS（CO_2 回収・貯留）を組み合わせたシステムの技術開発が求められている。

【固体高分子形定置用燃料電池】

固体高分子形定置用燃料電池は1kW 級の家庭用コジェネレーションとして開発が進展しており、2005 年度から 4 年間の大規模実証事業において、全国で 3307 台の実機運転が行われ、一般家庭における

高い省エネ性を実証している。2009 年度からは一般販売が行われる。一方で、本格普及に向けたコストダウンが課題とされており、セルスタック・燃料処理触媒の貴金属量低減、貴金属代替触媒の開発や周辺システムの簡素化に耐える高いロバスト性を持つスタックの開発、周辺機器の共通化などの基礎的な技術開発が引き続き求められている。

【固体酸化物形定置用燃料電池】

固体酸化物形燃料電池は、800℃以上の高温で作動し、数 kW～数 10kW 級の民生用コージェネシステム、数百 kW 級の民生・産業用コージェネシステム、数 100kW～100MW 級の大規模電源、産業用コージェネ、船舶用途として開発が進展している。各種燃料電池で最も発電効率が高く、大規模用途で60%LHV 以上、中小規模で 50～60%LHV が見込まれているが、実用化にあたっての主たる課題は、スタックおよび各部材（電解質、電極、インターコネクト）の耐久性改善である。セル材料や製造法・セル形状に関するデータの蓄積とともに、劣化機構の解明、寿命予測手法に関する研究開発が進展している。また、天然ガス以外の多燃料化（石炭ガス化ガス、バイオガス、石油系燃料）を想定した燃料ガス中の不純物の混入と劣化挙動の相関性に関する研究や、小型移動体用途向けに 500～700℃の中低温作動を目指した研究が進展している。

【燃料電池をベースにしたコンバインドシステム】

溶融炭酸塩形燃料電池（MCFC）や固体酸化物形燃料電池（SOFC）は排気温度が高いため、未反応燃料を含む高温排ガスをガスタービンによる発電に用いるコンバインド化により、極めて高い発電効率が得られることが期待されている。現在は数百 kW～数 MW のシステム開発が進展しており、300kW 前後のシステムでは国内外の実証試験において 50%を超える発電効率が確認されている。試算では MCFC タービンコンバインドで 60%超、SOFC タービンコンバインドで 70%超の発電効率が可能とされているが、これらを実現するためには MCFC、SOFC のコスト低減、耐久性・耐熱性向上、組み合わせるガスタービンの高効率化といった要素技術開発に加え、システム化技術の確立が求められている。

【再生可能エネルギーとのハイブリッドシステム】

燃料電池と蓄電池や太陽電池などの再生可能エネルギーとをハイブリッド化し、災害時の自立性や CO_2 削減効果を向上したハイブリッドシステムの研究開発が進展している。家屋内の給電システムを直流化し、太陽電池や燃料電池等の直流発電電力を直接家電製品に供給し、交流への変換ロスを低減することで、大幅な省エネと低炭素化を実現する。また、プラグインハイブリッド車や電気自動車の蓄電池とのハイブリッド化や、地域コミュニティ内の電力融通によって、余剰電力の有効活用や、外部系統への依存度を低減し、自律度を向上した地産地消のエネルギーシステムが実現される。これらを実現するには、SiC や GaN 等の次世代パワエレ素子材料や直流給電システム化技術の確立が不可欠である。

（佐々木　一成）

⑦エネルギー輸送

エネルギーの安定供給を低コストで行うためには、一次・二次エネルギーの輸送手段において、一層の効率性、高ロバスト性が求められている。また、天然ガスなどの輸送手段の多様化は、新たなガス田開発など調達先のオプションを拡げることにつながるため、エネルギーの安定調達にも寄与することが期待されている。これらを実現するために、以下の技術革新が課題とされている。

【高品質電力供給システム】

停電がなく電圧・周波数が一定である高品質な電力を供給するシステムは、近代社会システムの形成に必要不可欠なものとなっている。今後は出力が不安定な分散型電源の普及やインバータ負荷の増加等への対応が必要であり、電気事故や障害の主要因となる雷対策も依然として課題である。これら問題に対して絶縁協調や系統運用の高度化、より耐雷性能の高い機器の開発などによる安定した電力システムの構築が重要である。

【超電導送配電網】

超電導は特定の物質が冷却された時に電気抵抗がゼロとなる現象であり、超電導ケーブルを電力送配電に適用することで、現行 5%程度の送配電ロスを低減できる。高温超電導線材の開発、線材の長尺化、冷却の高効率化などの技術的課題があるが、コストメリットの大きい、都市部の地中ケーブル送電やデータセンター・超高層ビルなどの大電流配電、長距離大容量送電への適用が期待される。

【日本との国際連系電力ネットワークシステム】

日本との国際連系電力ネットワークシステムは、島国である日本と隣国を海底連系線で結び、電力を輸出入することにより原子力発電や自然エネルギーによる低炭素電力の有効利用などを可能にする。本システムの実現には国内外を結ぶ長距離大容量電力送電が必要となるが、技術的には送電ロスの低減が重要であり、将来、超電導送電技術などの高効率直流送電技術の実現が期待される。

【(天然ガス輸送手段としての)メタンハイドレートのハンドリング技術】

メタンハイドレートは高いガス包蔵能力を有するだけでなく、生成条件が LNG と比べて温和であるために、LNG では採算の合わない中小ガス田からの天然ガス輸送や、国内におけるガス導管が敷設されていない地域への天然ガス輸送などに応用することが期待されている。メタンハイドレートはLNGと異なり固体であるため、その生成、分解、移送などにおいて既存のLNGハンドリング技術を用いることができず、ハイドレートに特化したハンドリング技術の開発が課題とされている。

【中小ガス田向きの天然ガスの海上液化基地(FLNG)】

多くの中小海底ガス田は、陸上における天然ガス液化基地の建設費等を考慮すると経済性に欠けるため、未開発のままとなっているのが現状である。これらの中小ガス田から低コストで LNG を製造・輸送することができれば、天然ガスの安定調達に大きく寄与することになる。FLNG は陸上液化基地までの長距離にわたる海底パイプラインを必要とせず、ガス田が枯渇すれば別のガス田へ移動して再使用が可能であり、中小ガス田開発のコストが節減できるなどの優れた特徴を有するため、中小ガス田開発の有力な手段となることが期待されている。実用化には液化プロセスへの海上設備揺動の影響を低減するなどの技術開発が必要とされている。

(武藤　昭一、渡辺　尚生)

⑧低炭素エネルギー貯蔵

低炭素エネルギー貯蔵とは、低炭素社会に向けたエネルギー貯蔵のことを指し、具体的には、バッテリー(二次電池)などの電力貯蔵、及び物質貯蔵(水素貯蔵、物質貯蔵、ガス貯蔵)などである。物質貯蔵の中で水素貯蔵が将来重要な技術であるが、別の水素エネルギーの分野に記載した。従って、ここでは、電力貯蔵を中心に取り上げた。

電力貯蔵とは、夜間など需要のオフピーク時にベース電源の電気でエネルギーを貯蔵し、昼間のピーク負荷時にそれを電気に変換する、いわゆる負荷の移行によって平準化を行うものである。太陽光、風力など自然エネルギーを利用した発電システムは、出力変動が大きいので、負荷の安定化のため、電力貯蔵が必要となってくる。

電力貯蔵技術としては、既に商用化している揚水発電の他に二次電池、超電導、フライホールなどがある。その他圧縮空気、キャパシタなどがあるが、あまり大きな規模にならないと推定し、今回は取上げなかった。 今回は、以下の 4 項目を取り上げた。

【移動体用（車載用など）低コスト二次電池】

電気自動車の実用化を推進するためには、重量エネルギー密度が大きく、低コスト（3 万円/kWh 以下）の二次電池の開発が不可欠である。

【MW規模の系統連系安定化用低コスト二次電池】

太陽、風力など自然エネルギーを利用した発電システムは出力変動が大きいので、これに対応する二次電池の開発が不可欠である。

【数十kWh級系統安定化用の SMES（超電導磁気エネルギー貯蔵システム）】

SMES（超電導磁気エネルギー貯蔵システム）は、コイルに流れる電流でエネルギーを蓄える技術である。貯蔵効率は、90％以上と大きく、負荷の変動に瞬時に追従できる優れた特性を有しており、将来期待される技術である。

【1MW、50kWh 級電力貯蔵用超伝導フライホイール SMES（超電導磁気エネルギー貯蔵システム）】

電力貯蔵システムとしてのフライホイールの特徴は、エネルギー貯蔵密度の高さにある。これまで、短時間の大電流、大電力負荷用などの限られた特殊条件下でしか実用化されなかったが、二次電池以上の貯蔵密度が期待される技術であり、現在は、長時間貯蔵可能なシステムを目標に、研究開発が行われている。

（飯山　明裕、今井　哲也、中川　泰仁）

⑨低炭素型移動体

世界のエネルギー消費による CO_2 排出量の 20％が運輸部門からの排出であることから、移動体からの CO_2 排出を大幅に低減する必要があることは明らかである。そのためには、自動車や船舶、鉄道などに適した燃料電池の開発、水素供給インフラネットワークの整備、さらには、船舶の摩擦抵抗低減などに対して革新的な技術開発が求められる。

【燃料電池自動車への水素供給インフラネットワーク】

自動車からの CO_2 排出は、世界のエネルギー消費による CO_2 排出の約 18％と非常に大きな割合を占める。そのため低炭素移動体としての燃料電池自動車の普及への期待が高く、水素を低コストで供給できるインフラネットワークの整備が重要となる。技術的には、水素製造・供給設備の低コスト・小型化（昇圧機、輸送効率）などが重要であり、社会的には立地制約の緩和などが必要となる。2015 年前後からの燃料電池自動車の普及開始に相まって、水素ステーションの段階的導入が必要となり、将来的には日本全国で 5000 ヶ所以上の水素供給インフラネットワークの構築が必要と見込まれる。

【固体高分子形自動車用燃料電池】

(寿命:15 年以上、コスト:4 千円/kW以下(100 万台/年)、外部無加湿、-40℃～120℃対応)

自動車用の燃料電池には、自動車特有の使われ方における寿命の確保、量産時の低コスト化、さらには、広範囲な温度や湿度環境での作動の確保などが要求される。社会的に見ても、現在利用されている自動車と同等な実用性を確保するためにも、これら技術の開発が重要である。燃料電池自動車が、将来本格普及するためには、これら固体高分子形自動車用燃料電池技術が開発されて実用化される必要がある。

【燃料電池(Fuel Cell)を搭載した交通機関(船舶、鉄道)】

船舶や鉄道においては、全世界のエネルギー消費による CO_2 発生の約 2%程度を占めており、16%を占める自動車に比べて少ないとはいえ、大きな排出源といえる。燃料電池を自動車用以外の交通機関でも普及させるためには、それぞれの交通機関に適した燃料電池技術の開発が必要となる。船舶や鉄道においては、自動車用よりもさらに高い信頼性、寿命、そして効率が求められ、それの実現のための技術開発が重要である。

【船舶の摩擦抵抗低減技術が実用化され、所要馬力が 20%程度低減する】

船舶の摩擦抵抗の低減は、所要馬力の低減に直結し、CO_2 排出の低減に直結する重要な技術である。これまでも多くの取り組みがなされてきたが、さらに 20%程度の低減を可能とする革新的な技術の開発が望まれる。将来的にも物資の輸送に船舶は必要不可欠であり、燃料電池の適用などに頼らない CO_2 排出低減を実現するためにも重要な技術である。

(飯山　明裕、今井　哲也)

⑩エネルギーマネジメント

エネルギーマネジメント技術は、国の省エネルギー技術戦略やエネルギー白書などで重要な技術開発項目に挙げられ、また、電力の規制改革においても需要家インセンティブに基づく新しい需給運用方式(デマンドレスポンスなどの DSM の進化形)の可能性が注目されている。これまで、主に需要家内の家電機器等を統合制御し、需要家の利便性向上や快適性向上を目的にホームエネルギーマネジメントシステム(HEMS)やビルエネルギーマネジメントシステム(BEMS)の開発普及が図られてきた。今後は、これらのエネルギーマネジメントシステムの制御対象に自動車のバッテリーや太陽光発電(PV)、蓄電池なども加わり、さらに、電力系統運用者からの情報通信制御によりスマートグリッド化し、PV など再生可能エネルギー源の大量連系にも対応可能なエネルギーシステムに変革していくことが求められる。また、高度情報化社会において情報通信需要の増大に伴いサーバーやルータ等の電力消費量も大幅に増加することが予想される中、グリーン IT に大きな期待が寄せられ、我が国が当該技術分野を先導できるような技術開発体制が求められる。

(技術的重要性)

・プラグインハイブリッド自動車などのバッテリーを用いて需要家内や配電系統の需給制御を行う(V2G)は、国際的にも技術的重要性が高い。

・CPU の省電力化、液体冷却、サーバーの統合・仮想化、空調設備の電力制御など IT 機器やデータセンターなどのエネルギー消費を大幅に削減できるグリーン IT は、国際市場が大きく、重要技術である。

・上記技術を開発するためには、センサ、パワーエレクトロニクス、データマネジメント、ネットワーク制御など基盤的な技術を統合し、広く社会に普及できるように製品を標準化する必要がある。

（社会的重要性）

・技術や資金等の制約で低炭素化が遅れている中小規模の事業所や運輸部門で、省エネルギー法の強化に対応するため、ネットワークを介したエネルギー管理技術や電動化された自動車と電力系統を連携制御する技術(V2G)は、需要サイドに設置された分散型エネルギー資源がネットワークエネルギーシステムと協調し、相互メリットを発揮するために社会的に重要な技術分野である。

・都市部や住宅地域において街区単位で自然・未利用エネルギーを活用し、建物間で電力・熱・水などを融通できる地域大のエネルギーマネジメントシステムは、都市部のヒートアイランド現象を緩和し、低炭素コミュニティづくりに寄与する。

（将来性）

・スマートグリッドは 21 世紀中葉まで視野にいれた将来技術である。

・エネルギーインフラは長期的にリプレースしていく段階に達しており、当該技術は需給両サイドで長期にわたり、導入され、改良し続ける必要がある。

（浅野　浩志）

⑪低炭素製造技術・コプロダクション

地球温暖化防止・環境保全（水、土地利用、生物多様性等）とエネルギー・食料安定供給の両立に向けて、環境調和型の低炭素製造技術・コプロダクション技術の研究開発の推進が急務となっている。特に、カーボンニュートラルで再生可能な林産系・廃棄物系バイオマスや資源作物等の革新的なコプロダクション製造プロセスの開発によって、エネルギー安定供給と化石資源代替を推進することが重要である。

（技術的重要性）

持続可能な非食用バイオマス（資源作物）生産技術、エネルギー効率の優れたバイオマス転換技術、及びエネルギー及びケミカル・水素等のコプロダクション技術の研究開発・実用化が重要であることから、次の 7 つの課題を取り上げた。

・バイオ・熱化学変換プロセス融合型バイオ燃料及び水素の併産プロセス開発　：新規課題

・コンビナート型バイオリファイナリーによるバイオ燃料・バイオケミカル併産システムの開発

・バイオマスエネルギーの燃料電池化

・熱帯地域等の日射量の高いサンベルト地帯における植物生産能力の高い遊休地でのエネルギー用バイオマスプランテーション

・非化石エネルギー（風力、地熱、太陽光・熱、廃熱等）利用、コジェネレーションシステム、据え置き型燃料電池システム等の CO_2 排出の少ないエネルギー源を用いたシステムの開発

・地域農林業資源・有機性廃棄物などのバイオマスエネルギーを利用する、ゼロエミッションを指向した低コスト農林業・農村の実現

・水棲バイオマスプランテーションによる水環境浄化とバイオ燃料・ケミカル併産システムの構築

（社会的重要性）

地球温暖化防止・環境保全（水、土地利用、生物多様性等）とエネルギー・食料安定供給の両立の観点から、次のポイントに沿って、課題を設定した。

・低炭素社会の実現による地球温暖化防止

・国産バイオマス利活用によるエネルギー安定供給と化石資源代替への貢献
・水・土地・大気に優しい低環境負荷バイオマス利活用技術

（将来性）

技術の将来性については、21世紀のエネルギー安定供給・環境保全・経済発展を実現できる循環型社会の実現に向けて、次の3つの点が重要と考えられる。

・バイオマス利活用による農工商連携の新産業創出
・エネルギー自立型低炭素製造技術・コプロダクションによるゼロエミッションの実現
・自然との共生を目指した地産地消型・循環型システムの構築

（その他）

低炭素製造技術・コプロダクションの分野においては、バイオマス利用技術のみならず、他の再生可能エネルギーとの最適な組合せ利用によって、脱化石資源社会の実現に貢献することが重要である。

（坂西　欣也）

⑫省エネルギー

世界のエネルギー需要量は、2030 年には 2002 年の 1.6 倍に増加するという予測（国際エネルギー機関）であり、地球規模でのエネルギー消費削減が強く求められている。わが国では、1970 年代のオイルショック以降、産業界を中心に省エネルギーへの取り組みが進んだものの、民生・運輸部門で急増している。国は 2030 年までに 30%のエネルギー消費の削減を目標とし、省エネ法による規制強化を進めると共に、革新的技術開発戦略を立案し、長期的な視野に立った省エネルギー技術開発を図っている。

（技術的重要性）

温室効果ガスの約 9 割はエネルギー起源であり、エネルギー消費削減のための省エネルギー技術開発・普及は重要な課題である。京都議定書の削減目標の達成に向けて、国の省エネルギー技術戦略を産官学が協力して実行し、さらにポスト京都での省エネルギー分野における日本の貢献とリーダーシップが期待されている。省エネルギー技術は、エネルギー発生・変換から輸送、利用のあらゆる場面での技術開発が求められており、また応用分野も産業から民生、輸送等すべての分野に拡がる。したがって、省エネルギー技術開発・普及は非常に重要なテーマである。

（社会的重要性）

工場における省エネルギー設備・省エネルギー技術の導入は、国内のエネルギー消費の約 5 割を占める産業部門のエネルギー消費削減にとって重要であり、同時にコスト低減による企業の競争力強化も期待できる。また、民生部門では、技術開発が進みつつあるヒートポンプ応用機器（エアコン・給湯器・冷蔵庫等）、高効率照明、高気密住宅等における高効率化・低損失化をさらに図ると共に、一層の革新技術開発を促進する必要がある。ここで採り上げられた課題は、国の研究開発の指針の一つとなり、また企業活動の方向性を示している点でも、社会的重要性は高い。

（技術の将来性）

上記の革新技術の開発、導入・普及は、例えば家庭やオフィスでのエネルギーマネジメントシステムがネットワークやセンサ技術等の ICT(高度情報通信)技術とのシステム化により実現したように、ライフスタイルの変革や、工場での生産プロセスでの変革をもたらす可能性が大きい。国際的にも、日本の省エネルギー技術が世界の先進モデルとなることが期待されている。

（その他）

省エネルギー技術には、「エネルギーマネジメントシステム」や、「低炭素製造技術」、「コプロダクション」、「低炭素移動体」に関する技術を含むこともあるが、これらは別の科学技術課題キーワードに含まれるため、ここでは除外している。

（工藤　博之）

⑬その他技術開発における評価ツール等

エネルギー関連の科学技術は、他の科学技術分野に比べ、とりわけ社会の様々な影響や制約の上に成り立っている要素が強い。したがって、エネルギー関連の科学技術課題の実現に向けては、同時に文理融合型の科学技術の展開が求められる。

とりわけ、以下 3 つの科学技術が重要と考えた。

一つは、エネルギー技術の開発において技術の進展または導入に影響を与える社会的要素をいかに把握するかが重要であり、技術開発評価に用いるための人々の心理行動分析を含む経済分析技術（手法）と技術分析とが合わさった形のツール開発である。

上記の技術開発評価を行うには、ツール開発以外にも評価に用いるためのデータベースの整備も併せて行う必要がある。

また、人々が環境重視行動を行うことのモチベーションを分析することで、新エネルギー、省エネルギー導入・支援のための各種制度の効果的な展開を図ることができるため、人々の心理的側面や補助金等の経済的側面による行動を政策効果や広告効果として定量的に分析するための技術（手法）の開発は重要である。

（柏木　孝夫）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
原子力エネルギー	1	世界標準を獲得し得る次世代軽水炉
	2	高速増殖炉サイクル技術
	3	中・小型熱電併給原子炉
	4	商用原子力発電所の廃止措置に対応できる、安全でかつ合理的な解体撤去技術
	5	高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を核変換して、廃棄物量を激減させる技術
	6	高レベル放射性廃棄物の地層処分技術
核融合エネルギー	7	核融合発電炉
化石エネルギー	8	微粉炭火力発電の高効率化を目指した700℃級蒸気タービン仕様の超々臨界圧発電技術（A-USC）
	9	超重質原油・非在来型石油資源（オイルシェール、オイルサンド等）の燃料化等の有効活用技術
	10	多目的ボトムレス型エネルギー変換拠点
	11	メタンハイドレート採掘利用技術
	12	エネルギー消費の少ない CO_2 分離・隔離技術
	13	地下貯留の長期監視技術を伴った CO_2 の地下貯留技術
	14	CO_2 を物理的・化学的および生物的に固定し有効活用する技術

区分	番号	科学技術課題
	15	大規模で高効率のガスタービン（入口温度 1700℃以上）による大型複合サイクル発電
	16	発電効率40％のセラミックスマイクロガスタービン
	17	石炭ガス化発電に燃料電池を組み合わせた高効率発電技術（IGFC）
再生可能エネルギー	18	集中型太陽熱発電(中央タワー，ソーラー・トラフ，太陽熱化学システム等)
	19	シリコンや GaAs を用いた太陽電池を凌駕するエネルギー変換効率の新材料技術
	20	変換効率 20％以上の大面積薄膜太陽電池
	21	メガワットクラス以上の出力を有する海洋エネルギー資源利用発電技術（波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等のいずれか）の商業化
	22	風力発電予測技術
	23	宇宙太陽発電システム
水素	24	CO_2 回収・貯留（CCS）技術との組合せによる化石燃料を原料とした CO_2 フリー水素製造技術
	25	革新的水素貯蔵材料技術（水素貯蔵量10重量％以上、放出温度 100℃程度）
	26	原子力・太陽熱・地熱等を利用した超高温水素製造技術
	27	太陽光で水を分解する水素生産プロセス
	28	CO_2 フリーな再生可能水素の国際需給ネットワークの確立
	29	国内の低コスト水素供給を可能とする水素輸送・貯蔵技術
燃料電池	30	次世代携帯機器・ネットワーク向け小型燃料電池
	31	溶融炭酸塩形燃料電池による中・大規模発電
	32	固体高分子形定置用燃料電池
	33	固体酸化物形定置用燃料電池
	34	燃料電池をベースにしたコンバインドシステム
	35	再生可能エネルギーとのハイブリッドシステム
エネルギー輸送	36	日本との国際連系電力ネットワークシステム
	37	（天然ガス輸送手段としての）メタンハイドレートのハンドリング技術
	38	高品質電力供給システム
	39	中小ガス田向きの天然ガスの海上液化基地（FLNG）
	40	超伝導送配電網
低炭素エネルギー貯蔵	41	移動体用（車載用など）低コスト二次電池（重量エネルギー密度100Wh/kg以上、出力密度2000W/kg以上、コスト3万円/kWh以下）
	42	MW規模の系統連系安定化用低コスト二次電池（サイクル寿命：20年以上、コスト1.5万円/kWh以下）
	43	数十kWh級系統安定化用の SMES（超電導磁気エネルギー貯蔵システム）（コスト5～7万円/kW）
	44	1MW、50kWh級電力貯蔵用超伝導フライホイール SMES（超電導磁気エネルー貯蔵システム）
低炭素型移動体	45	燃料電池自動車への水素供給インフラネットワーク（水素ステーション：5000 箇所）
	46	固体高分子形自動車用燃料電池（寿命：15年以上、コスト：4千円/kW以下（100 万台/年）、外部無加湿、-40℃～120℃対応）
	47	燃料電池を搭載した交通機関（船舶、鉄道）
	48	船舶の摩擦抵抗低減技術が実用化され、所要馬力が 20%程度低減する
エネルギーマネジメント	49	プラグインハイブリッド自動車などのバッテリーを用いて需要家内や配電系統の需給制御を行う(V2G)
	50	CPU の省電力化、液体冷却、サーバーの統合・仮想化、空調設備の電力制御など IT 機器やデータセンターなどのグリーン IT により、大幅な省エネルギー化を図る

区分	番号	科学技術課題
	51	各種センサ、計測器により室内環境や設備の運用状況を監視し、ビル内のエネルギー・環境負荷を管理するシステム（Building Energy management System、BEMS）各種のBEMS が中小規模の建物まで広く普及し、業務部門の自動化された省エネルギーが進む
	52	宅内通信ネットワークを用いて家電機器、太陽光発電装置、蓄電池等を統合制御し、CO_2 排出を削減する家庭用エネルギーマネジメントシステム(HEMS)
	53	原子力をはじめとした大型電源からPVなどの分散型電源および需要機器まで、全体の需給バランスをICTを活用し最適に運用することにより、低コスト、安定供給、低炭素化電力供給が可能となるような系統技術
	54	都市部のヒートアイランド現象を緩和し、都市部でも郊外でも低炭素コミュニティづくりに寄与する、都市部や住宅地域において街区単位で自然・未利用エネルギーを活用し、建物間で電力・熱・水などを融通し、物質循環と一体となったエネルギーシステム（エネルギー・物質の面的利用）
	55	中小企業でも導入可能な工場全体のエネルギーマネジメントシ ステム（FEMS）
低炭素製造技術・コプロダクション	56	バイオ・熱化学変換プロセス融合型バイオ燃料及び水素の併産プロセス開発
	57	コンビナート型バイオリファイナリーによるバイオ燃料・バイオケミカル併産システムの開発
	58	バイオマスエネルギーの燃料電池化利用の一般化
	59	熱帯地域等の日射量の高いサンベルト地帯における植物生産能力の高い遊休地での資源作物バイオマスプランテーション
	60	非化石エネルギー（風力、地熱、太陽光・熱、廃熱等）利用、コジェネレーションシステム、据え置き型燃料電池システム等の CO_2 排出の少ないエネルギー源を用いたシステムの開発
	61	地域農林業資源・有機性廃棄物などのバイオマスエネルギーを利用する、ゼロエミッションを指向した低コスト農林業・農村の実現
	62	水棲バイオマスプランテーションによる水環境浄化とバイオ燃料・ケミカル併産システムの構築
省エネルギー	63	次世代省エネ型ディスプレイ技術
	64	IC タグ用など、熱、振動エネルギー等による超小型発電機
	65	150℃を越える蒸気生成が可能な産業用ヒートポンプ
	66	民生用超高効率ヒートポンプ（空調・給湯・冷凍機用等、排熱回収も含む）
	67	家庭用小型コジェネレーションシステム
	68	次世代高効率照明技術（LED/LD/ELの高効率化，革新的面発光体を含む）
	69	自然エネルギー、自然通風、自然採光、及び雨水・地下水等の利用を可能とするエネルギー自立型建築技術
	70	未利用 CO_2 フリーの熱源を利用した外燃スターリング動力回収システム
その他、技術開発における評価ツール等	71	エネルギー需給双方に影響を及ぼす消費者心理、セキュリティ、リスク、政策効果等が分析出来るエネルギーシステムの社会経済モデル・ツールの開発
	72	新エネルギー、省エネルギーの導入を支援する税制、法制度、排出権取引制度、グリーン認証制度の整備

第7節　No.7 分科会：水・食料・鉱物などあらゆる種類の必要資源を扱う

1．検討範囲

No.7 分科会で設定された検討範囲は、以下の通りである。

①未利用資源
　極地資源、深海底、宇宙資源、宇宙精錬（有害物を地球に持ち込まない）
②農林水産資源（森林保全、バイオハザード等を含む）
　生物資源、海洋生物資源、海洋微生物資源、海洋鉱物資源、植物機能強化、動物資源機能強化
③水資源
　水管理（観測、地下水）、水処理（上下水）、水利活用（造水）、水環境修復
④環境、再生資源、リサイクル（有害物を資源に変換）、LCA
⑤炭化水素資源、鉱物資源および CCS
　在来型・非在来型化石資源、バイオマス資源、鉱物資源
⑥太陽利用、宇宙放射線（黒点予測、サンベルト地帯）
⑦資源基盤技術（データベース）、資源に関わる人文・社会融合領域（合理的合意点の模索等）、資源を生み出す利益の適正配分、人材育成

2．要点

No.7 分科会は 21 世紀前半に実現が期待される資源に関する科学技術を予測する。ここで資源は人類の生存を支えるエネルギー・原材料・食料・水を包含している。その探査、生産に関する科学技術を主とするが、精製精錬や利用が現時点で困難な資源については、それらの科学や技術も対象とした。ここで地球・惑星・太陽系・銀河系に賦存する資源を対象とした。

資源は地球の地表、地中、地底、土壌、河川、海洋、海底、極地に賦存し、極限的環境下に置かれたり、あるいは低品位、低密度の場合、現時点で利用度が低かったり、未利用に留まっているが、将来需要の変化と科学技術の進展、環境制約の克服により検出、生産、加工、利用が可能となる。

太陽を起源とするエネルギーは現在、地球上で種々の資源を多量に産出している。その利用を地球規模で最適化し、また産出を促進する科学技術も対象とする。このエネルギーは生物資源（農林、水産、牧畜）をその代表例とする多様な自然エネルギー、水資源、海洋資源の起源であり、重要な資源である。

化石資源、鉱物資源は勿論資源の代表であり、低コストの故、地球上の賦存をより徹底して探査、生産されると予測される、将来的に惑星系に人類の手が伸長しよう。制御された宇宙におけるビッグバンによる資源の産出も、遠い将来の科学技術対象となる。

そこでこうした資源を広く見て、その利活用に必要となる科学技術の進化の予測が本分科会の中心課題である。一方、経済性の高い化石資源の消費に伴って、排出されるCO_2の大気中濃度を安定化するために、捕捉・貯留する科学技術も21世紀の大きな目標である。従って、CO_2 を捕捉・貯留できる容量は資源と考えるべきで、そのサイトの探査、貯留実行の科学技術を含めた。

第二の資源元となる再生資源、リサイクルにより利用可能となる資源に関する科学技術も包含する。

人類にとって重要な資源は同時に紛争の種子でもある。資源に関わる紛争を減らし、利益配分を公正

化し、環境負荷を極小化することによって、人類に貢献する融合科学も大切である。

（持田　勲）

3. 各区分の概要

①未利用資源

未利用資源とは、存在が確認されているがエネルギー密度が低い、生産コストが高い、採取技術が確立されていない、などの理由により利用が進んでいない資源である。これら未利用資源は一般的に賦存量が多く、再生可能であることが多いため、今後の重要性は高いと考えられる。

本分科会において取り上げた未利用資源は、深海底に存在する金属資源、さらに深海底下の浅い地層に存在するメタンハイドレート、火山エネルギーから温泉までを含む地熱資源、地表水・海水を使用した温度差エネルギーなどである。深海底における金属・化石燃料資源の利用は、探査・開発・操業コストの高さのため進んでいないが、日本の領海内には相当量の資源（特にメタンハイドレート）が存在することがすでに確認されており、天然資源に恵まれないわが国にとって重要な資源である。また、今後予測される資源価格の上昇・在来型資源の枯渇を考慮すると、これら資源の探査・開発のための技術開発は極めて重要と考えられる。地熱資源の利用においては、現在のところ景観保護、観光産業の反対のため新規開発が難しい状況となっている。しかしながら、地熱資源は環境負荷のきわめて小さい再生可能エネルギーであるため、効率的にこれらを利用するための探査・モニタリング技術の開発の重要性は高い。さらに、火山国であるわが国において、火山エネルギーを発電や直接熱供給を目的として利用するための探査・モニタリング・利用技術は近い将来に確立すべき重要な技術である。温度差エネルギーはすでに国内において利用が始まっているが、エネルギー密度の低い熱源を効率的に利用すること、また高額になりがちな利用施設建設のための初期投資を低減することが重要課題である。温度差エネルギーは再生可能であり、またヒートアイランド現象抑制効果が高いため、これに関する技術開発は地球温暖化対策という観点からも重要と考えられる。

（藤井　光）

②農林水産資源

本区分では、生物とそれに由来する物質（ただし化石資源を除く）を対象とする。これらの資源は、食料、素材、ケミカルズや燃料の原料として有用である。従来から、これらの資源の利用は図られてきたが、近年の資源の枯渇、地球環境/地域環境の問題への対応にあたり、生物資源が再生可能であること、再生時/物質生産プロセス時の環境への負荷の少ないこと、あるいは環境修復能力を有することなどの特性をも考慮に入れた生物資源の有効利用は今後極めて有用であると考えられる。しかしながら、生物資源については、一部は従来型の使用法により利用されているとはいえ、その膨大なポテンシャルに比較し、未利用で放置されている、あるいは廃棄物として処理されているのが現状である。本領域は、これらの生物資源を有効に利用することにより、付加価値の高い製品を製造する新しい生産プロセス体系を構築する。またこれらの生産プロセスと併せて、生物資源の大きな特徴である、持続的に利用しながら環境修復を行うことも視野にいれる。生物資源の生産、利用、保全は、地域の社会システムにも大きく貢献できることから、他の分野との連携を図る。

従来より生物資源は食糧、素材、燃料として利用されてきたが、生産特性や利用特性に限定して取り

扱われることが多く、生産−利用−処理を包括する循環システムや再生可能性に着目した観点からの利用方法の開発は今後の課題である。環境負荷軽減ならびに持続的有効利用を視野にいれた資源開発が図られるべきである。

生物資源は、食糧、素材、燃料、医薬品など、人類の生存の根幹にかかわる資源である。再生可能であり、地球環境対策（CO_2 固定、砂漠化防止、塩害化防止）、地域環境対策（土壌流出対策、洪水対策、廃棄物処理対策）にも効果を有する。今後人口が増大する中で、これらの資源の増産、効果的利用は、きわめて重要である。また生物資源の有効利用に関しては、地域での有効な社会システム（生産、収集、利用、後処理の一連のシステム）の構築が要となるが、そのなかで、新たに雇用創出などの新規産業を広く興すことが可能となる。

ここでは、今後 20−30 年先を見据えて、実現が期待される科学技術課題を抽出した。将来的には、生物資源の生産は、植物工場（and/or プランテーション）のように極めて高い生産性を追及した現場がある一方、砂漠化や塩害化で環境崩壊が進行した地域、あるいは海洋などのように、広い地域で環境修復を行いながら、生産を行うように、多様化し、その中で、それぞれに最適な植物資源を生産し、その利用を図るようになると期待される。

（小木　知子）

③水資源

40 億年前に生まれた水は、その優れた機能（例えば、①溶かす、②物質やエネルギーを運搬する、③三相の形状を持つ）ゆえに、豊かな自然を育むとともに人類の持続的な発展を支えてきた。しかし、気候変動や技術革新、社会様式の変化にともない、地球規模の水循環の健全性が失われつつある。本領域は、a)将来に向けた適正な水管理を実現するためのデータベースや予測技術の構築、b)人類や生態系、産業を支える水処理技術、c)水需要の拡大と水偏在化に対応する造水や水再利用技術、d)生態系保全に向けた環境修復技術、などを中心とする水の管理・生産・利用に関する研究を包含する。

人類の持続的発展を支える水循環の健全性を回復し、維持するには、技術革新が不可欠である。今回、採用した課題は①地球規模の水利用計画に向けた水の存在状態（水質、水量）の正確な把握、②地球温暖化にともなう地域的降水量の変動に対応した水管理・利用方法の変換、③エネルギー・資源の有限性や偏在化に対応した省エネかつ省資源な水処理の推進、④20 世紀の急速な技術革新により汚染された水環境の修復、などに大きく貢献する重要な技術である。

産業・経済、ならびに情報化の急速な発展、規模の拡大により、水資源確保に向けた社会的重要性は世界的課題として認識されている。145 カ国にまたがる国際河川流域では、水使用量の配分や汚染対処の資金負担をめぐり紛争が発生しており、水資源開発の重要性は論を待たない。採択した課題は、その他にも①開発途上国での適切な水質、適正なコストによる水供給推進、②産業構造やライフスタイルの変化にともなう多様な水需要への対応、③技術レベルの異なる地域に対する適正な技術の提供、⑤水文化の醸成、などに大きく寄与するものである。

水管理については、地球規模の観測ネットワークが構築されつつある。さらにきめ細かいデータベースの構築と、的確な検証による正確な予測技術開発の努力が続けられており、成果が期待される。

水処理や利用技術については、すでに実用化され普及が拡大している膜分離技術を中心に、さらに省エネやハンドリングの簡易な装置開発と適正な水を安定して供給するためのシステム構築が求められている。特に日本では水供給管理システムの遅れが指摘されており、各省庁が連携し総合的な開発プロ

ジェクトが推進されている。

今回採用した技術課題は、土木・化学・機械・電気を中心とした領域からバイオテクノロジー、情報工学、宇宙工学、政治・経済などを融合した取り組みを強化することで、将来必ず実現できるものと期待される。

（森　直道）

④環境、再生資源、リサイクル、LCA

本分科会の目的である 30 年先を見据えた科学技術課題を考えるにあたって、今後の世界状況を予測すれば、人口については現在よりも更に増加し、資源の消費量も比例して増大の流れとなっていく。特に BRICs とそれに続く新興国での増加は顕著なものとなるであろう。したがって資源の確保、環境対策は社会システムも含めて現在よりも更に重要なものとなると予想される。将来の資源については、天然資源に枯渇性の強いものもあり循環による確保も相当の部分を占めるようにならないと持続的発展は難しいことも予想されている。特に全ての資源を輸入に依存している日本は影響が及ぶことも相当懸念されている。現在の状況から見ても、本分野の課題の重要性が垣間見えるであろう。

さて、金属資源から見て鉄、銅、鉛、亜鉛、金、銀、白金族、アルミニウムのような金属はかなりの部分では循環の仕組みが構築されてきており、残りは WEEE 等に代表される主として埋立てに回っているようなものからの循環が課題となっている。更にレアメタルについては工程不良品からの循環以外は出来ていないのが現状である。現状の日本の社会システムでは自治体の焼却、破砕、埋立てが主となっており、焼却の場合は焼却灰になっている。焼却灰からの回収は天然資源に比較して経済的に成立たないこともあり、廃棄物処理費用が補填される亜鉛のケースを除いて殆ど成立していない。当然含有される水銀や鉛のような有害物質に対する配慮も希薄である。よって、課題は回収コストと有害物対策であり、その回収技術の開発と事前分離システムが解決策として重要である。現行のリサイクル法による社会システムは資源確保、レアメタルの重要性について規定する要素は少なく、リサイクル率で目標が設定されているのが現状である。将来的には資源確保の要素が取り入れられると予想され、まさに今検討が始まっていることもあり、この課題は 30 年後を見据えれば一層重要度が増すものと考える。そして、経済的側面からは貯蔵(ストック、蓄積)の社会システムは資源リスク対策としても重用であり、天然資源と同程度の規模までの鉱床化が望ましい姿である。ある一定規模に達しないと回収コストからみても LCA 的にみても経済的には天然資源と拮抗することは困難である。その意味では焼却灰からの回収は常にこの課題が付随してくる。従って、事前に有害物も含めて選択分離が出来れば解決の方向は見えてくるが、集める社会システムとコスト、廃棄物を貯蔵出来る法整備、有害物質対策が大きな課題である。現行の廃棄物処理法では限定期間内に処理しなければならず現実的な社会システムの構築が必要である。

次に、石炭火力発電も含めた焼却による有害廃棄物発生に関わる環境対策ついては、日本の NOx、SOx 除去技術は排出基準が厳しいこともあり、技術的には世界最高レベルにあるとされているが、そのコストも高いものとなっている。世界的にみると新興国では殆ど対策は行なわれておらず総排出量は膨大なものになってしまう。従って簡易的且つ経済的に相当量の除去が出来る技術の普及が世界レベルでは必要であり早急に開発を行なうべきである。

排ガスからの水銀の除去についてであるが、背景として日本の水銀の需要は 10t/年であるが日本で唯一の水銀回収会社の野村興産㈱の実績は 0.2t/年と 2%程度であり、残りは処分場か大気に拡散している可能性が指摘されており、環境省も排出量データを調査している。前記の WEEE の自治体焼却炉投入によるものもあると推定されるが、約 6000 万トン/年石炭を使用する火力発電所、他には製紙ボイラー、セメ

ント、鉄鋼、バイオマスからの排出量もかなりの量になることは推測できる。この排出量は天然資源の含有量であるから水銀メタルの需要数値の外である。しかしながら排ガス中の希薄な濃度の水銀を除去出来る技術は出来ておらず、その技術開発は特に必要である。

関連して発生する石炭灰は膨大な量になり、主な利用先のセメントは生産量が下がって行く方向にある。これらから全量を利用することは困難になりつつあり、現在でも砒素のような有害物質対策から自社で最終処分場を設置して処理するケースが多く見受けられる。最終処分場も簡単には造れない現実もある。従って、この利用、減容化、無害化の技術開発と社会システムの構築が必要である。海外の石炭鉱山に戻す発想もあったが、バーゼル等の問題もあり実現していない。他分科会のテーマでもあるが、エネルギーとしての石炭火力の位置付けを将来的にどうしていくかの議論も必要である。

最後に資源循環を行なう上で回収コストを無視しては成立しないことは明白であり、WEEE からのレアメタル等の金属を回収する上では、含有部品の分解取出しが容易なことが重用であり設計段階からの DFE がポイントとなる、30 年先を見るならなおさら必要なシステム開発である。現状では、中国の安い人件費での人手での分解に太刀打ちできていない。それから社会に拡散したWEEE が自動的に集まる社会システムも確立していなければ実現性はない。天然資源からの調達が困難となる方向性が強まるならば循環を強める必要性が増し、集めるための社会システムが必要になり、経済的支援システムも成立する方向になろう。これについては家電 4 品目、自動車、パソコンは消費者、容器包装は自治体(税金=消費者)に義務づけられて、成立していることから、回収費用があれば循環リサイクルが出来ることは明白であり、コスト意識を明確にすれば技術開発も進むと判断される。資源価格が長期的にみて高騰してゆくなら益々重要な課題になるはずである。しかしながら天然資源からの調達コストから大きく逸脱しないようにしないと、容器包装、家電、自動車に見られるような中古輸出となり、ローカルではシステムが一部機能不全になる。また、回収に必要なエネルギーの LCA 的な観点も重用である。さらにはそれぞれの金属に関するエコロジカルリユックサックもしくは TMR(Total Material Requirement:関与物質総量)の数値化評価、有害物影響調査も環境対策からは必要と判断される。将来的には日本国内に限定せずグローバルな資源循環が実現することが最も望ましい姿である。

(加藤　秀和)

⑤炭化水素資源、鉱物資源および CCS

ここでは、人類の生活の基盤となるエネルギー資源と鉱物資源を対象とした。具体的には、石油、石炭、天然ガスに代表される在来型化石資源、オイルサンド等の非在来型化石資源、バイオマス資源、ウラン、鉄・非鉄金属、レアメタル等鉱物資源を対象とし、それらを環境と調和しつつ、効率的に採取・利活用するための技術に焦点を当てた。併せて、化石資源の利用に際しては、CO_2 の排出を最小化することが重要であると共に、CO_2 の回収・貯留(CCS)も重要な選択肢となることから、CCS の実施可能容量もまた資源であると考えて本分野の対象とした。

本分野の技術の重要性は以下のように列記できる。

- エネルギー資源、鉱物資源ともに採取サイトが深部化の傾向にあり、地下深部や深海底に賦存する資源に適用可能な技術の開発が重要となる。
- 品位や濃度が低く利用に至っていないエネルギー資源や鉱物資源も多く存在し、これらについては採取、濃縮、分離、精錬等の技術革新が重要である。
- CCS については、貯留サイト・容量の把握や環境影響の定量的評価、経済性の問題など多くの技術

的課題があり、そのブレークスルーが望まれる。

- エネルギー資源の安定化のためにはオイルサンド等の非在来型化石資源やバイオマス資源など新たな資源の利用に関する技術開発も重要となる。

本分野の技術の社会的重要性は以下のように列記できる。

- 21世紀は低炭素社会構築に向けた社会構造の変革が求められ、その実現のためには、基幹エネルギーたる化石資源の高効率利用やバイオマス資源の有効活用、地球温暖化対策としての CCS の技術革新が重要となる。
- エネルギー資源や鉱物資源は人類の生活にとってその根幹を成すのもであり、特に自給率が極めて低い我が国にあっては、国際貢献をしながら自国の資源を確保する必要があり、その鍵を握るのが優位性ある技術の開発である。

ここでは、今後 30 年先を見据えて、実現が期待される技術課題を抽出した。化石資源・バイオマス資源、鉱物資源、CCS 全てにおいて実用化の可能性が高い技術課題と考えている。但し、ハードルは高いものの、我が国にとって重要と考えられる海水中からのウラン回収や CO_2 海洋隔離等についても課題として取り入れた。

昨今の資源を取り巻く世界情勢としては、資源の囲い込みや資源ナショナリズムが台頭し、資源は国家戦略の様相が高まっている。資源に乏しい我が国にあっては、産出国との協調なしには自国資源の安定化は望めない。従って、国際的に優位性ある技術を開発・確保することこそが、最重要課題と言える。

資源の持つ価値は、その利用方法によって決まると考えられ、その意味で社会全体においてその資源をどう活用していくのかという社会システムの中で考えていくことが肝要である。

（谷口　一徳）

⑥太陽利用、宇宙放射線

本分野の科学技術課題は以下のように要約できる。

- 宇宙から地球に輸送させるエネルギー・資源、地球規模での把握と利用最適化、災害極小化
- 宇宙に賦存させる資源の調査、生産・精製、輸送の技術、地球からの距離と技術困難性
- 宇宙における資源の産出技術

太陽系に置かれた地球上の人類が宇宙に賦存された資源、宇宙から地球に輸送されるエネルギー資源の利活用の開始、最適化、あるいはもたらされる災害の極小化は21世紀の課題や夢の技術の対象である。これらの資源・エネルギーへのアクセス、距離が困難さの基準になるが、月や惑星の一部に人類はすでに到着している。自然の営みによって賦与された資源・エネルギーに加えて、ビッグバンが宇宙の資源の産出の主機構であるとすれば、制御されたビッグバンの誘導制御による人為的資源産出も不可能ではない。核分離、核増殖、核融合と進展している核材料科学技術の遠い先の科学技術と位置づけられるであろう。最小アクセス距離にある宇宙からのエネルギー資源は、太陽に起源するエネルギーである。地球上の化石資源の枯渇後に期待する最大のエネルギーであることから、個別地域での利用を越えて、地球規模で最適化することが今後必要になる。これは、地球規模で災害の極小化につなげられる可能性を有している。

月や地球に近い惑星の資源やエネルギーについては、すでに調査が可能になっている。21世紀は元素資源の生産地球輸送、地球外での精製、精錬、加工も期待できる。遠い惑星やさらに恒星での人類活動が着実に目指す科学技術の対象になろう。

地球上の元素資源の多くは地球誕生時に産出、形成されたと推定できる。従って、人類が宇宙でビッグバンを誘起、制御できれば新たな資源やエネルギーの産出ができる。これの科学技術は、人類の活動が地球から宇宙へ拡大し、資源供給の限界を大幅に拡大できる。可能性の高い技術から夢の技術へ、時間軸を考慮して科学技術群の配列ができる。

（持田　勲）

⑦資源基盤技術、資源に関わる人文・社会融合領域、資源を生み出す利益の適正配分、人材育成

限られた資源の開発をめぐっては、最近の資源ナショナリズムの台頭による需給の逼迫、開発による環境破壊がもたらす地域でのトラブル、自然保護運動による開発規制の動きも見られる。本分野では、いかに環境への負荷を低減し、資源保有国と消費国、さらには開発に関わる地域社会との適正なる関係を維持して有限である資源を有効に開発・利用するために必要な技術とその方法論を研究するものである。

また、省エネルギー技術、環境技術など世界の先頭を走るわが国の技術の広範な普及と更なる技術の高度化のためにはそれらを担う技術者の育成も重要課題である。

有限である資源を有効的に開発・利用するためには、地球規模的な資源情報・データを把握することが重要な要素となり、それらを可能とする探査システムとデータ分析を行うための基盤技術の構築が果たす役割は非常に大きい。資源開発による環境への影響評価を行い、環境負荷低減化のための技術開発とそれらの高度化は、開発するために必要な地域社会、時には、国際間の合意形成を得るための重要な要素となる。

温暖化対策、省エネルギー等に係る技術、あるいはそれら技術の改革は、地域性だけの問題ではなく、地球温暖化、資源の枯渇といった今後の地球規模的な課題に対応する重要な要素となる。資源開発は地域社会の合意が必要であり、これらに応えるための社会インフラの整備、環境対策への適正なる技術が求められる。

将来とも資源の安定供給と確保を維持していくためには、持続的な資源開発と資源の有効活用が求められる。本分野に関係する技術の開発とその適用は、そのための重要な役割を果たすことが期待される。

（石原　紀夫）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
未利用資源	1	マンガン団塊、重金属泥、熱水鉱床、コバルト・クラスト等の深海底金属資源の経済的採取・精錬技術
	2	将来的地熱資源としての火山エネルギー監視・利用技術
	3	コミュニティ単位で自然・未利用エネルギーを活用し、物質循環サイクルを形成する技術
	4	バイナリー発電・温泉発電などによる中低温地熱資源利用技術
	5	重力測定・測地技術を利用した地熱資源モニタリング技術
	6	地表水・海水を利用した高効率型エネルギー供給技術
	7	深海底下に賦存するメタンハイドレートの経済的な開発・生産技術
農林水産資源（森林保全、バイオハ	8	生物多様性の保全に資する高度回遊性魚類の包括的な利用技術の開発
	9	形、大きさ、開花時期など、植物の成長をコントロールする遺伝子基本ネットワークの解明

区分	番号	科学技術課題
ザード等を含む)	10	DNA マーカーなどのゲノム情報の解析技術を応用して、有利な形質(環境耐性、耐病性等)を備えた水産生物を作出し養殖する技術
	11	未利用の深海微生物の生理機能を利用した、食品や医薬品等の生産技術
	12	砂漠(乾燥地帯)における高効率な植生再生技術
	13	植物ゲノム技術による、飛躍的に向上した空中の窒素固定能、土壌中のリン酸利用能力等を持つ植物
	14	リモートセンシングやネットワークを活用した農林水産資源のモニタリングシステムの開発
	15	高収量かつ持続可能性保持(輪作可能)なバイオマス生産技術の開発
	16	植物・微生物を用いた燃料/バイオケミカルズの製造技術
	17	バイオテクノロジーを使用した金属元素の抽出、分離技術
水資源	18	水利用・水質汚濁実態の地球規模観測(全球 1 キロメッシュデータ整備
	19	水文予測モデルや地球シミュレータによる水文(流域水循環)と気象の融合
	20	地下水質・流動観測推定技術と地下水涵養技術の発展による地下水の適正管理技術
	21	有害微量化学物質やノロウィルスなどのモニタリングや新しい除去技術の発展による安全で安心な上水供給システム
	22	水質管理、栄養塩循環および衛生保持を可能とする分散型生態学的下水処理技術
	23	逆浸透膜などによる経済的・実用的な海水淡水化、汚染水浄化再利用技術を活用した地域調和型水循環利用システム
	24	水保有量の地域偏在化を解消するための高効率な水輸送システム
	25	栽培漁業や海洋資源発掘にむけた広域水循環(浄化・再利用)システム
	26	陸域・河川・沿岸域を繋ぐ物質循環システムの解明に基づいた、藻場・干潟などの沿岸環境修復技術
	27	都市河川，堀，公園における藻類や病原菌などの除去・発生抑制水処理システム(モニタリングを含む)導入による安全な親水空間創出
環境、再生資源、リサイクル(有害物を資源に変換)、LCA	28	WEEE、焼却灰等から天然資源と拮抗する経済的レアメタル含有部品の選択的分離技術または選択的金属分離技術の開発
	29	分離したレアメタル含有部品、金属含有物質を天然資源と拮抗する経済的規模(鉱床)まで貯蔵出来る社会システムの開発
	30	新興国でも受入れ可能な廃ガスからの経済的な NOx、SOx 除去技術
	31	石炭灰の無害化と合理的灰利用または処分が出来る社会システムの構築
	32	石炭やバイオマス、廃棄物の燃焼ボイラーから発生する排ガス中の水銀を大気、水、土壌等の環境に対して影響のない形に安定化させる技術
	33	DFE製造システム開発と回収社会システムの構築
	34	金属スクラップや非鉄金属廃棄物から有害成分や有用成分を経済的に分離する技術
炭化水素資源、鉱物資源および CCS(在来型・非在来型化石資源、バイオマス資源、鉱物資源、CCS)	35	石炭、重質油、バイオマス等の炭化水素資源に適用可能な CCS を組み入れた水素製造、ガス化による発電および合成燃料製造技術
	36	CO_2 地中貯留ポテンシャルを拡大するための対象層探査技術ならびに油層工学を活用した CO_2 増進貯留技術
	37	従来未利用の低品位なレアメタル原料の経済的精製技術
	38	採掘困難な深部石炭層を地中でガス化し、利用可能なガスを取り出す技術(石炭地下ガス化)
	39	CO_2 圧入による油層・ガス層・炭層からのエネルギー資源開発ならびに貯留された CO_2 の再資源化など CO_2 地中貯留に経済的インセンティブを付与する技術
	40	資源量の豊富な褐炭等の劣質石炭の製鉄用優良炭材への改質技術
	41	超臨界水等を用いたオイルサンド・ビチューメンの経済的な熱分解技術

区分	番号	科学技術課題
	42	CO_2 海洋隔離が海洋環境に及ぼす影響の定量的評価手法の確立とそれに基づく中深層溶解法ならびに深海底貯留法の安全性検証および国際承認の取得
	43	深海や地下深部の資源を安全且つ経済的に採取するための遠隔採取システム（通信技術およびロボット技術の活用）
	44	CO_2 地中貯留に関連するパッシブモニタリングを含む効率的監視手法ならびに漏洩早期検知・補修技術
	45	海水中から経済的にウランを回収する技術
	46	原子力エネルギーによる未利用炭素資源からの製鉄用還元ガス製造技術
	47	炭鉱等から通気等から排出される低濃度メタンガスの利用と濃縮技術
太陽利用、宇宙放射線（黒点予測、サンベルト地帯）	48	地球規模での太陽エネルギー利用の最適化
	49	宇宙太陽資源の生産基地の構築と地球への輸送
	50	宇宙内で制御されたビックバンの再現と資源創造
	51	地球規模の太陽利用と環境保全：環境性向上と災害の防止
資源基盤技術（データベース）、資源に関わる人文・社会融合領域（合理的合意点の模索等）、資源を生み出す利益の適正配分、人材育成	52	コークス用炭の世界規模での品質、採掘可能な資源量の把握
	53	水素・太陽光等の非化石エネルギーの普及を可能とする革新的技術開発と社会インフラの整備
	54	開発に伴う水紛争の回避プロセスに関する社会的合意形成
	55	バーチャルウォーターの地球規模での移動解析と国際トレード制度
	56	資源開発における環境負荷評価と地域社会合意形成の方法論
	57	資源開発における利益配分に対する地域合意形成の方法論
	58	省エネルギー等の技術協力・移転による国益と国際的合意に基づいた世界益・地域益へ結実するための導入技術と方法論
	59	国連が中心になって資源を共同探査するシステム
	60	資源の開発・利用に関与し、国際舞台で活躍できる知識と専門性を有する日本の技術者育成

第8節　No.8 分科会：環境を保全し持続可能な循環型社会を形成する技術

1．検討範囲

No.8 分科会で設定された検討範囲は、以下の通りである。

○社会系[問題設定]…何が問題なのか？
　環境リスク評価／リスク管理／リスクコミュニケーション
　境経済政策／環境経済評価／環境経済指標／環境経営手法
　ライフスタイルと環境（環境倫理を含む）
○メカニズム・基礎系[実態把握]…実態はどうなっているのか？
　環境評価・環境予測・環境シミュレーション技術
　環境モニタリング（地上観測を含む）
○対策技術系[解決策]…どのように解決するか？
　都市・農村環境（地域環境保全）
　温暖化の評価と対策技術
　生態系・ランドスケープ・生物種・ハビタット・遺伝子の多様性保全、復元及び関連する政策
　都市廃棄物極少化技術／環境保全型物質循環技術／省資源・省エネルギー製品
　大気・水・土壌環境の汚染防止／循環型水資源利用技術
○その他境界・融合・新興領域
　境界・融合・新興領域

2．要点

20 世紀の人類は、物質的な豊かさの増大を求めて地域と地球の環境を犠牲にしてきた。その方向性を変えずにいたのでは人類の活動が環境の容量を超えてしまうと、世紀の後半から終盤になって気付いたのが 20 世紀の環境問題の歴史といえるであろう。代表的な現われとして、化学物質の問題の深刻さを社会に問うた「沈黙の春（1962 年）」、オゾン層破壊を化学反応の理論で予測し特定フロン全廃という予見的対策を講じた「モントリオール議定書（1987 年）」、温暖化が人類社会に及ぼす影響の大きさを予見して組織された「IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の設立（1988 年）」などが特筆される。また 20 世紀においては、環境汚染や地球規模の環境変動を引き起こす原因物質やメカニズムについて、自然科学全体の進歩とともに理解が進んだことも事実である。一方、世界のグローバル化によって、環境問題が国境を超えた作用を及ぼすことも顕在化してきたし、地球温暖化のような全世界に影響が及び全世界的な対策以外に解決のない問題も現われてきた。

圧倒的に物質的に豊かになった先進国であるわが国では、「環境指標」という言葉の意味が、単に人が生物としての寿命をまっとうするまで生存できることを保障するだけでなく、文化的で質の高い生活を安心しておくれることを測る指標とも考えられるようになってきた。環境容量の限界が見えてきて資源の消費に制約を課すべき現代社会において、質の高い生活の維持は、ある面で相反するものである。このことから、物質的な消費を抑制しながら生活の質を維持することを可能にするような科学技術の進歩が、社会的に強く求められている。単に社会や人の生活に大きな制約だけを課すのではなく、質の維持を伴った持

続可能社会構築という困難に立ち向かうために、ハードとソフト両面の環境技術が必要とされている。地球や地域の環境に対する人為的負荷がその容量を越さないように管理することが必要な前提であると踏まえ、その上で生活の質を高めるためにいかに科学技術が貢献できるかを、21 世紀の科学技術評価の視点では重視すべきであろう。

今回の検討では、今日的な環境科学の研究と技術開発について、
[実態把握]→[問題設定]→[問題解決]という流れを設定し、
[実態把握]をメカニズム・基礎系の科学として、観測などから実態解明、予測を行う科学、
[問題設定]を社会系の科学、何が問題なのか経済社会とのかかわりを重視して考える科学、
[問題解決]を対策技術系の科学技術、問題を解決するために工学的手法のみならず、社会科学や生態学と関わる新技術をも用いる科学技術、
として捉えて、キーワード抽出と課題の設定を行った。

[実態把握]において、環境モニタリング・監視技術は、20 世紀の公害問題以来、人の健康のための監視に加え、地球観測や生物生態系の観測といった自然や地球全体の把握の方向に広がってきた。これは計算機科学の進歩と同調して進んできた環境予測の分野の基礎データを提供するものであり、これらが組み合わされた技術進歩で、環境問題が顕在化してから対応するという対処療法的対応を脱して予見的対応へと社会を動かすことが可能になる。特に地球環境のような一旦破壊してしまった場合に復元の方法がない場合にこそ、予見的対応の重要性が高いのである。

[問題設定]においては、既に進みつつある分野として化学物質の問題を中心とする環境リスク評価やリスク管理技術があげられ、人と生物の生存環境を脅かすことを避けた化学物質の利用が現代社会では必須になってきたことを受けたものである。また、資源制約へ対応しこれ以上の環境破壊を避けながらも、市場経済的社会の活性の維持という考え方で環境と関わる経済や政策の科学が進歩しつつある。さらには、概念を人間社会のあり方にまで広げることでライフスタイルと環境の科学が新しい分野として認知されるようになり、その課題整理を行った。

[問題解決]の科学では、水・大気・土壌の汚染対策のような従来型の公害対策技術の課題がなくなったわけではない。しかしながら、地球温暖化や生物多様性の保全というような地球環境の保全技術の重要性が高まった。加えて、人間社会が主として存立する都市と農村の環境のよりよい将来を作る技術、資源制約に応える資源の循環利用を進め廃棄物を減量する技術を科学技術課題整理の括りにした。

（技術的重要性）

資源制約は人類活動の増大（人口の増大と一人あたり活動量の増大）に伴って今後さらに顕在化するものと考えられる。持続的社会構築には、エネルギーでいえば低炭素化を進めることが重要であるし、資源循環技術を進歩させて廃棄物の極小化に向けて技術を進めることが重要である。資源制約が高まれば高まるほど、これらの技術開発で得られる経済効果が大きくなり、国際競争力強化に結びつく。

（社会的重要性）

20 世紀に従来型の公害問題を経験してきた我が国では、これらの問題が解決済みであるかの印象もあるが、途上国では 21 世紀前半の今、これらの問題が深刻になってきている。先進国から途上国への技術移転は、単に環境の問題を解決するだけでなく、途上国社会の破綻を回避させるのに必要なものであり、人類社会全体の質を向上させることに貢献する。

一方、個人が人間らしい生き方を求めるというライフスタイル要求の高まりに、国や社会が応えるために、環境という全体の入れ物の設計は国や自治体が考えるべき問題になり、環境アセスメントや予測技術の

普及、一般化が求められるのである。

（将来性）

「グリーンニューディール」の考え方で明らかにされているように、これからの環境科学技術が、環境の問題や廃棄物の処理を行う「エンドオブパイプ」型技術から、低炭素化技術、資源循環利用技術、都市と農村の適正な設計管理技術など、人間社会の無駄を省き、廃棄物や処理すべき問題そのものを減らす技術に中心が移ってゆくであろう。物を生み出すのではなく、廃棄物や処理すべき問題を減らすことが「付加価値」になるような将来社会を描くべきであろう。

（野尻　幸宏）

3. 各区分の概要

①環境リスク評価／リスク管理／リスクコミュニケーション

豊かな環境を維持しつつ、便利で快適な社会と安心で安全な社会の共立を実現していくための手段として、環境リスクを的確に評価し、効率的な管理の枠組みを明確化することが求められる。また、人類の弛まない挑戦によって得られるベネフィットのかたわらで生じているリスクを国民が認識し、リスクの適切な管理が持続的な社会の必要条件の一つであるとの共通認識を醸成していくことが重要である。本分野は、環境リスクの評価技術やマネジメント技術、および、リスクコミュニケーションのツールや手法などから構成される。

（技術的重要性）

事業場などで突発的に生じる環境リスクに対応する減災技術システムや、工業原材料あるいは最終製品におけるリスクの管理など、身近な場所や地域、モノに対するリスクの迅速な評価と管理のための技術システムが求められる。

（社会的重要性）

今後のリスク社会においては、環境リスクマネジメントの概念が国民の各セクターに浸透し、関係者が環境リスクの現状と対策についての共通認識を図るリスクコミュニケーションが不可欠である。なかでも、環境汚染により人の健康を損なう原因の多くが化学物質であることに着目すれば、懸念の高い化学物質が人や家畜、農業生産、さらには自然生態系に及ぼす影響が迅速に解明され、それらのリスクを低減できる環境技術の開発・普及していくことが期待される。

（将来性）

人類の生活基盤を支えている生態系が、気候変動や人為活動の拡大によって、その機能が低下していくリスクも見逃すことはできず、影響範囲やスパンが大きい将来的な視点での評価技術が求められる。

（亀屋　隆志）

②環境経済政策／環境経済評価／環境経済指標／環境経営手法

持続可能社会実現には、経済活動と整合を保ちながら保全や環境負荷軽減を実現する技術開発が求められる。一方、開発された技術あるいは製品が社会において適切に評価されるためには、客観的定

量的な環境評価手法・指標が広く認知されて実施されると共に、関連公開と共有の整備等が重要である。

本領域は、商品の環境関連の情報開示、経営の情報開示、税制の整備、ライフサイクルアセスメント（LCA）の確立から構成される。

（技術的重要性）

企業活動、消費行動、寄付行為など、さまざまな場面での CO_2、生態系への負荷などの客観的な評価技術や制度革新は、経済活動と整合を保ちながら保全や環境負荷軽減を実現するための判断の基礎となる。

（社会的重要性）

公開制度の整備、評価技術の確立は、企業活動、消費行動と、環境負荷の低減や保全の両立のために不可欠である。個人の意思決定のレベルから、広く社会、国際社会と情報共有やプラットフォームの確立のために欠かせず、その社会的意義は極めて大きい。

（将来性）

これまで外部経済として、価格や情報体系に組み込まれてこなかった、環境への負荷や保全の貢献度合いを「見える化」するという点で、商品、LCA、環境経営姿勢の情報公開、共有のための評価技術や精度設計は将来性を持つ。寄付行為等の税制についても、制度面での拡充に対する社会的な要請は極めて高い。

（香坂　玲）

③ライフスタイルと環境（環境倫理を含む）

持続可能社会実現には、ライフスタイルについてのコンセンサスを得て、それに合致した環境技術の開発が求められる。そのためには、環境に関する思想・哲学・倫理が整理され、その内容が環境教育を通して普及していくことが重要である。本領域は、社会科学的な調査研究成果に基づいて、適切な環境技術開発のあり方を提案するものである。

（技術的重要性）

地域的な環境問題を解決するために環境アセスメント手法に基づいた合意形成システムなど、社会科学的な要素を取り込んだ制度設計が重要となる。

（社会的重要性）

全ての環境技術は社会のニーズに応えられるものでなければならない。ライフスタイルを意識し、社会ニーズに合致した環境技術の開発の社会的意義はきわめて大きい。

（将来性）

理科系的発想のみならず、文科系的発想を取り入れ、いつでもどこでも誰もが享受できるユビキタス的なより環境に優しい技術に発展する可能性がある。

（溝口　勝）

④環境評価・環境予測・環境シミュレーション技術

環境評価を行うには、環境を変化させる要因が環境媒体とそこに生きるヒトや生物に及ぼしている現時点の影響を明らかにし、その要因が将来さらにどのような影響を環境に及ぼすか？あるいは要因が変化

することで環境がどう変化するかを予測する技術が必要である。従来は定性的に行われてきたこのような影響評価、予測が、今日の計算機の進歩を受けて、モデルシミュレーションという手法で、数値的に行うことができる分野が増えてきた。

この分野は、気候変動の大規模数値シミュレーションを No.5 分科会に譲り、環境中の物質、地域の環境、環境リスクなどの評価・予測・シミュレーションの今後の発展に関わる課題で構成した。

（技術的重要性）

計算機資源が豊富になることで、一般的には環境を構成する要素をより小さく 3 次元にグリッド化し、グリッド間でエネルギーや物質の移動を詳細に計算し、物質の反応などを加えることで、計算をより緻密にすることが技術の流れであるが、一方で、むやみに計算を膨大にするだけでは、自然の現象を模擬することにならないことも多い。すなわち、計算すべきパラメータを適切に選び観測で得られる現実の値で検証することや、あいまいな情報を適切に計算式で表現することなど、プロラム開発のセンスが問われる。

（社会的重要性）

環境問題を地球規模でとられるための大規模シミュレーションが国際社会から求められることとあわせて、地域におけるあらゆる開発行為に対して事前の環境影響評価が必要となることから、評価・予測技術が現業分野でも利用可能とする技術の一般化が求められている。

（将来性）

従来には得られなかった膨大な計算機資源を活用する大規模シミュレーションの研究開発は、計算機資源の強化とあわせて進行するであろう。それとともに、環境アセスメント分野では民生で得られる規模の計算機資源でより簡易にシミュレーションが可能となる技術の普及も必要である。また、トータルな環境影響の予測という要求に応えるために、生物・生態系影響など数値化しにくい要素の表現が求められる。

（野尻　幸宏）

⑤環境モニタリング（地上観測を含む）

環境の状況を的確に把握することは効果的な環境対策を行う上で不可欠である。一方、広い地域でさまざまな環境要素を精度よく把握するためには、情報量と作業効率の間でのトレードオフもある。このため、新たなセンサやモニタリングシステム、それらから得られる情報を高度に解析する技術の開発が必要となる。本分野は、衛星を使った広い領域の面的なモニタリングや、地上のサンプリング地点でのモニタリングにおける要素技術と、それらの情報を活用する解析技術などから構成される。

（技術的重要性）

環境汚染の要因は多様化する一途をたどっており、将来に向けて戦略的で効率的な環境モニタリングの開発が重要となる。特に、発がん性物質や内分泌かく乱化学物質など社会的に強い懸念が抱かれている物質群については、包括的で効率よいモニタリング技術の開発に大きな期待が寄せられている。このため、それらの汚染状況を広域的に把握するためのモニタリングシステムや環境汚染要因を的確に抽出して捉える新たなセンサーシステムも重要となる。また、衛星観測技術の進歩は、人海戦術的な要素を有する地上での分析測定を大幅に軽減できるものとして期待される。例えば、国や地域をまたがって影響をもたらす大気汚染物質や、生態系や農作物生産に係わる流域での大規

模な水循環などについて、衛星観測と地上観測の技術を融合させた面的な把握の進展が期待される。また、動植物への環境負荷を把握するためには、自然生態系への影響を把握できる指標の開発も期待される。ただし、数値化が難しい環境要素の観測において技術的困難度が高い。

（社会的重要性）

環境シミュレーション技術と高度化した観測技術を組み合わせると、大気化学、水循環、化学物質汚染などの高分解能予測やリアルタイム予測などが可能になり、環境汚染に対して防御するような具体的対策を支援するツールとなり得る。

（将来性）

リモートセンシング技術、多成分同時検出定量技術、観測データリアルタイム伝送データ共有技術など、センサ技術と情報科学技術の高度化に伴って急速に進歩する部分も多いと考えられるが、あくまで、環境の現場で環境要素や生物要素などを地道に計測する技術も発展させないと、観測の質を高めることにならない。

（亀屋　隆志）

⑥都市・農村環境（地域環境保全）

持続可能社会実現には、都市と農村の特性を正しく理解し、その特性を活かしながら社会全体の環境負荷を軽減する技術の開発が求められる。その一方で、地域に残存する伝統的な祭りや文化など、経済性指標では計れない価値を評価する手法に基づいて、地域環境を保全する技術の開発も必要である。本領域では、都市と農村の調和を考慮して、地域環境保全を実現するための環境技術開発を扱う。

（技術的重要性）

都市と農村が連携して窒素循環を有効に機能させる循環型地域社会を構築するためには、土壌や水などの地域資源を有効に活用することが重要である。社会の低炭素化に重要なバイオマス資源の生産は農山村地域に依存するので、その効率的産出・利用を可能にする開発行為と自然環境保全の適正なバランスを実現する技術が必要である。

（社会的重要性）

地域の伝統的な祭りや文化など経済性指標では計れない価値を評価する手法の開発により、地域の協働活動等が促進され、住民参加型の地域環境保全が実現されることの社会的意義は大きい。

（将来性）

都市と農村の生活環境の格差が軽減されることにより、老若男女が生活拠点を自由に選択できるようになる社会システム技術として発展する可能性がある。

（溝口　勝）

⑦温暖化の評価と対策技術

これまでの多くの環境汚染の問題は、原因を作るものと影響を被るものがそれぞれ特定されるものであったのに対し、温暖化は世界のほとんどの人が原因物質の排出者になりかつ影響を受けるものになる。また、原因と影響に対し、先進国と途上国間であるいは現世代と将来世代間で公平でないという問題が、従来型の問題と異なる。今世紀中にその影響が甚大になる地球温暖化に対処するには、全世界的な取り組みが必要である。ここでは、化石燃料起源の CO_2 の問題と気候変動観測予測の問題はエネルギーと

地球観測の問題としてとらえて No.5、No.6、No.7 分科会に譲り、温暖化を評価する課題とエネルギー起源 CO_2 以外にかかわる対策技術をまとめた。

（技術的重要性）

CO_2 以外の温室効果ガスも、温室効果全体の 30%を占める重要な原因要素である。メタンのような大気反応性の比較的高い温室効果ガスは、その対策が大気濃度に速やかに反映するので、短期的には対策投資効果が高い技術である。一方、N_2O や SF_6 のような長寿命温室効果ガスの対策が進まないと来世紀以降の気候に大きく影響するので、その対策技術をできるだけ早く始めることも併せて必要である。農業関連の温室効果ガス排出対策は、食糧生産を確保した上で排出削減を進めることで技術的な障壁が大きい。フロン代替ガスである HFC、PFC には比較的反応性の高い短寿命のガスと長寿命のガスとがあり、特に長寿命ガスの対策が重要である。

（社会的重要性）

温室効果ガスの国別排出量を正確に把握する技術は、条約等の遵守判定に必要であることのみならず、排出源ごとの対策を進めるために必要な技術である。土地利用変化、森林伐採による CO_2 排出を監視することは適正な森林管理を通じて温暖化対策につながるもので、施策へのフィードバックが望まれる研究分野である。

（将来性）

メタンの対策技術は比較的ローテクのものが多く、新規技術の開発よりは、実用性の高い技術を普及させること、特に途上国でも使える技術に注目することが重要である。衛星による CO_2 観測を国別排出量算定を助けるまでに高度化することは、きわめて技術的バリヤーが高いものの、わが国がこの観測で世界をリードしている事実もあり、今後重点化するべきかどうか十分な議論が必要であろう。

（野尻　幸宏）

⑧生態系・ランドスケープ・生物種・ハビタット・遺伝子の多様性保全、復元及び関連する政策

生物多様性とは、生態系やランドスケープレベルの多様性、生物種やそのハビタット（生息地）レベルの多様性、遺伝子レベルの多様性という3つのレベルの多様性を指す。生物多様性の損失の影響は、間接的かつ長期的できわめてわかりにくく、対策についても地球レベルのミレニアムアセスメントなどが行われているものの、対象が絞りきれないため地域ごとの具体的かつ定量的な目標設定や評価が進んでいない。自然の残された地域や農山漁村の人口は減り続けており、都市生活者にとっては生物多様性は現実感のないものになっている。

日本は 2010 年の第 10 回生物多様性条約締約国会議（COP10）の議長国を務めるが、この会議は「生物多様性の損失速度を 2010 年までに大きく低減させる」という本条約の目標年である。しかしながら、日本在来のほ乳類の 24%、両生類の 22%、淡水魚類の 25%、陸及び淡水貝類の 25%、維管束植物の 24%が絶滅危惧種、また多くの生物のハビタットである干潟面積（1994 年時）は埋立てや干拓などの開発により 1940 年に比して約4割が消失しており、日本の生物多様性の損失速度は緩まっていない。生物多様性基本法を始めとする関連法制度はここにきて整備されつつあるが、日本の科学技術における生物多様性保全の位置づけは、例えば温暖化問題と比較するときわめて低いと言わざるを得ない。

（技術的重要性）

今後は、生物多様性に対する最大の脅威である開発などの人間活動と生物多様性保全のバランス

を実現する科学技術や社会制度の開発と普及が最重要課題である。そのためには、開発などの人間活動に対する合意形成を図るための戦略的な環境アセスメント、HEP（ハビタット評価手続き）などの生態系やハビタットの定量評価、開発により消失する生態系やハビタットの復元・再生（生物多様性オフセット）などの技術開発が、自然生態系のノーネットロスを含む定量的政策目標の整備とともに急務である。また、生態系やハビタットの保護・復元について市場メカニズムを利用して推進する生物多様性バンキングのような経済手法も、先行しているカーボンオフセットとの融合を含めての技術開発が必要である。

（社会的重要性）

生物多様性の分野は生物学や生態学だけではなく、農学、工学、社会学、経済学などとの他領域や実社会の政策や企業活動など複合領域に及ぶものであり、日本ではこのような複合領域としての生物多様性分野の研究体制の整備が遅れており、複合領域研究の支援及びそれを担う人材育成が必要である。

（将来性）

生物多様性の問題は、温暖化の問題同様、人類全体の存続を脅かす、今後さらに悪化し続ける問題であり、継続的かつ長期的戦略で研究と対策および施策への反映を続けてゆく必要がある。

（田中　章）

⑨都市廃棄物極少化技術／環境保全型物質循環技術／省資源・省エネルギー製品

都市や産業など人間活動に伴い排出される廃棄物に関連する問題は、かつては資源の浪費や環境破壊問題、最終処分場のひっ迫等の面から議論されることが多く、その対策技術として研究開発が進められてきた。しかし、廃棄物や最終処分する物質は、適切に循環させる技術・社会システムがあれば、都市内で資源とすることができる。持続可能な社会を形成するためには、不要物を処理・処分するのではなく、資源として循環させる観点が必須である。また、各種製品も、当初から省資源・省エネルギーの観点で設計・製造することが重要である。

本領域は、廃棄物や焼却灰等からの希少金属の回収・利用、物質・エネルギー・水のコミュニティ単位での高効率活用による循環型社会の形成、製品ライフサイクルにおける低エントロピー化、化石燃料代替技術、家庭単位での廃棄物排出負荷低減、廃棄物の高リサイクル化などから構成される。

（技術的重要性）

まず、製品のライフサイクルにおいて使用される資源・エネルギー投入量を最小化するための技術開発が今後ますます重要となる。また、廃棄・リサイクルユース段階においては、その目的のために投入する資源・エネルギーが、再利用物の価値を大幅に下回ることを実現する技術が必須となる。

（社会的重要性）

私たちの生きる社会が持続可能であるために必要な地下資源は、一部を除き枯渇性であることから、本領域の技術は長期的には必須のものとなる。経済的にも自立し、産業として成立するための技術と社会システムの確立が希求される。究極的には社会構造そのものが物質、エネルギー、水など資源の循環利用を前提として設計、運用されるための技術、社会システムが必要となる。

（将来性）

地味であり、大きな付加価値を加える技術（産業）とはならないことも考えられるが、人類存続のためには今後ますます重要となり、広く薄く普及、いずれ不可欠の技術となると考えられる。あるいは地下

資源を無限に使える画期的な技術が発明されるまでの延命措置として必要である。30 年後ならば可採地下資源がまだ残存していると考えられるが、その頃には本分野の技術が経済合理性を持って成り立つめどがたち、ある程度は実用化されることが望まれる。

（中村　弘志）

⑩大気・水・土壌環境の汚染防止／循環型水資源利用技術

本分野は高度経済成長期に典型七公害と称された、人間活動による環境破壊への対策技術の延長上にある。社会的気運の高まりに裏打ちされた積極的な技術開発とその実施により、わが国において環境はかなり改善されるとともに、世界的に見ても優位性の高い技術ノウハウを習得した。近年においては、持続的な循環型社会の形成、あるいは安心・安全を担保し、人々の快適性をも保証するという観点に方向性がシフトしている。また、利害関係者や社会的背景の多様化により、技術開発のみならず社会的課題への解も求められる分野となっている。

本領域は、水分野における日本の世界進出、水関連インフラ技術、上下水道インフラの更新、土壌・地下水汚染対策技術、建築物の室内環境の改善、化学物質の除害・無害化、土壌中の炭素・窒素分解対策、などから構成される。

（技術的重要性）

対処療法的な公害対策型技術をベースとして、持続可能な循環型社会を形成するための技術へと発展をとげてきた。環境保全のみならず、省資源・省エネルギー、資源の循環利用、安心・安全などの観点で技術開発がなされ、わが国において蓄積した技術的ノウハウは世界的にも優位性が高く、今後世界の人々に貢献するためにさらなる向上と活用が望まれる。

（社会的重要性）

本領域は、環境を保全しながら持続可能な社会を成り立たせるために必須である。人類が持続して行くために、社会を根底から支える重要な技術分野の一つと位置づけられる。また、この分野の特性から社会の様々な事柄と複雑に関連しており、社会システム面からの変革も必要である。人類存続のために欠かせない基幹的技術分野の一つである。

（将来性）

すべての人々が直接・間接に関与する重要な分野である。地味ではあるが、今後人類存続のために必須の技術分野であり、社会全体としても推進していく必要性の高い分野である。新規性の高い分野ではなく、理想的にはそもそも公害や環境対策技術といったものを必要としない社会であるが、今後社会構造やライフスタイルの変化にともない本分野の技術内容も進化を続け、その時代時代に適合したものとなると考えられる。

（中村　弘志）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
環境リスク評価／リスク管理／リスクコミュニケーション	1	環境リスクマネジメントの概念が社会に浸透し、関係者のリスクコミュニケーション技術が飛躍的に向上する
	2	懸念の高い化学物質が人や家畜、農業生産、自然生態系に及ぼす長期的な有害性影響が解明され、それらのリスク低減を目的とした環境技術が開発・普及される
	3	化学物質リスクの迅速評価の技術と制度が充実し、新規物質審査や既存物質点検が数ヶ月で可能となる
	4	気候変動や人為活動の拡大による生態系の機能低下に対するリスクを評価し将来を予測する技術が開発される
	5	化学プラントやタンカーなどでの大規模な事故や災害の発生時に労働者や近隣住民および自然生態系に対する被害を未然に防止したり早期に回復させる減災技術システムが確立され、突発的な環境リスクが最小化される
	6	購入商品や調達原材料に付随する環境リスク情報を物流とともに川下へ伝達する技術が各産業分野で確立する
	7	各地域や各事業所におけるリアルタイムでのリスク評価技術が開発され、公表される
環境経済政策／環境経済評価／環境経済指標／環境経営手法	8	商品の環境情報（カーボンフットプリント、フードマイレージ）が一般的になる
	9	経営上の基本的な方針として、気候変動や生物多様性など地球規模の課題で社会的責任(Corporate Social Responsibility)を強く意識した経営が一般化する。全ての上場企業において環境情報の公開と報告の仕組みが整い、中小を含めた企業の規模等に応じた環境報告の仕組みが確立される
	10	自然環境、公共財、住環境の保持・整備のために個々人、法人による資金の拠出が促進されるように税制・法制度が整備される
	11	ライフサイクルアセスメント（LCA）およびライフサイクル費用評価（LCC）の規格が普及し、客観的・定量的手法として社会的に認知される算出方法が標準化され、誰でも同じ解を簡単に導き出せるようになる
ライフスタイルと環境（環境倫理を含む）	12	都市や農村などにおける地域的な環境問題を解決するために、環境負荷を最小化するような環境アセスメント手法に基づいた合意形成システムが構築される
	13	生活の省エネ、老人対策等を進めるために、農業従事者も地方都市に生活するようになり、通勤型の農業が一般化する
	14	住民参加型の廃棄物の有効利用／分散型エネルギーシステムが構築される
	15	生産中心の農業から環境負荷を軽減する農業シフトするための環境技術が構築される
	16	環境に関する思想・哲学・倫理が整理され、初等教育課程の環境教育を通して国民の生活スタイルが変化する
	17	耐久消費財に対する所有の概念が変化し、大部分がリースまたはシェアされるようになる
	18	環境リスク評価やアセットマネジメントなどにおいて、環境にかかわるデータベース・知識ベース等の知識情報基盤を活用した多様な利害関係者による協調的意志決定システムが構築される
	19	国際的な問題に対して、多様な科学的知見や主張・価値判断を整理・分析して表示することにより、問題の全体像把握を可能にし、関係国の合理的な政治判断を支援する技術が開発される
	20	癒し効果の生理的解明が進み、森林や木材などの生物資源の持つ特性を利用した新たな療法が開発される
環境評価・環境予測・環境シミュレーション技術	21	大気・水質・土壌汚染の環境動態シミュレーション技術を用いた健康リスク・生態リスク評価が進み、環境アセスメントに利用される
	22	環境指標の劣化を誘引する社会経済的要因の評価技術が開発される
	23	将来社会予測技術が進歩し、政策と科学のコミュニケーションが進むことで国際合意がなされ、途上国を含めた温室効果ガス半減の具体的な計画がなされる

区分	番号	科学技術課題
	24	地域・地方スケールの大気環境予測シミュレーションが進み、黄砂や光化学スモッグなどの大気汚染を天気図のように示す予報が普及する
	25	大気・海洋・陸域各圏と生態系を含む物質循環を同時に扱うことができる地球システムモデルによる数十年規模の地球環境変動予測が可能になる
	26	生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展によって伝染病や災害の予測が可能となる
環境モニタリング（地上観測を含む）	27	衛星から地上の広域大気汚染物質（オキシダント、NOx、VOC など）を観測するセンサーシステムが開発される
	28	POPs 等による海洋・沿岸域汚染を世界的規模でモニタリングして解析するシステムが開発される
	29	発がん性などの遺伝毒性、内分泌かく乱性、自然生物に対する生態毒性などを有する有害物質を、数百種類まとめて一斉に分離・定量できる分析測定システムが開発される
	30	各産業での物流情報や産業連関解析などを用いた都市での物質循環や水利用を効率的に把握する情報解析技術が開発される
	31	身近な動植物への環境負荷を迅速に把握するための簡易な生態影響評価指標が開発される
	32	衛星観測と地上観測の効果的な統融合により、流域単位での表流水・地下水循環が予測される技術が開発される
都市・農村環境（地域環境保全）	33	高齢者が生活しやすい生活環境が都市にも農村にも公平に整備され、老後の生活拠点を自由に選択できるようになる
	34	都市と農村を包括した流域を単位とした環境配慮型土地利用計画手法が実現する
	35	放棄水田や放棄植栽林を含む農村の自然資源の復元・保全と都市の環境負荷をトレードオフするミティゲーション・バンキング（生物多様性バンキング）に代表される市場経済手法が開発される
	36	都市におけるヒートアイランド、乾燥化、ハビタット消失などを緩和するための分散型人工ビオトープとしての屋上及び垂直緑化技術およびその評価手法が開発される
	37	地域の伝統的な祭りや文化など経済性指標では計れない価値を評価する手法が開発され、地域ぐるみでスムーズな協働活動が促進される
	38	土壌や水などの地域資源を活かしながら流域の窒素負荷を最小にする農林水産技術が開発され、都市と農村が連携して窒素循環を有効に機能させる循環型地域社会が構築される
	39	地域農林業資源・有機性廃棄物などのバイオマスエネルギーを効率よく利用して高付加価値農林産物を低コストで産出し、経済的にも持続可能な農林業が実現する
温暖化の評価と対策技術	40	大気環境中での寿命が長い PFC、HFC、SF_6 の代替化技術が開発される
	41	農業と工業プロセスからのメタン・N_2O 排出削減技術が進み、大気メタン濃度が激減し、N_2O 濃度は増加が停止する
	42	途上国の未発達な排水処理等から発生する大量のメタンガスを効率的に回収し利活用する技術が開発される
	43	途上国において安易に焼却処理されているバイオマス廃棄物を有効に利活用する技術が開発される
	44	観測と評価技術の進歩により熱帯林破壊が防止されるようになり、多くの地域で熱帯林再生活動が効果的に行われる
	45	砂漠・半乾燥地帯における高効率な土地利用技術が普及し、相応の食糧生産が確保されて住民の生活の質が向上する
	46	CO_2 ガスの国別吸排出量を人工衛星により高精度で観測する技術が実用化する
	47	温室効果ガスの自然による発生と吸収・固定のメカニズムが解明され、対策技術に活用される

区分	番号	科学技術課題
生態系・ランドスケープ・生物種・ハビタット・遺伝子の多様性保全、復元及び関連する政策	48	開発計画時において、在来生物のハビタットや生態系の消失を緩和するためにノーネットロス(開発などの前後で自然の質と量を一定に保つ政策)を基本とする合意形成プロセスが制度化される
	49	エコトーンを含む、様々な生態的センシティブエリアに関する代償ミティゲーション技術(消失する生態系やハビタットの復元・再生)が開発される
	50	ハビタット適正指標(HSI)について希少種を含む在来種の知見が集積されるとともに、ハビタット評価手続き(HEP)による日本の多様な生態系の定量評価が一通り完了し、各地、各事業における HEP 適用の日本のモデルが整備される
	51	カーボンオフセットと生物多様性オフセットが融合したバンキング・システムが開発される
	52	環境アセスメント制度において、生物多様性の価値を含む総合的なランドスケープ(景観)評価手法が確立される
	53	流域圏の連続性を区切りとした地域ごとの生態系サービスの定量的評価技術が確立される
	54	外来種に関する侵略リスク評価技術が確立される
都市廃棄物極少化技術／環境保全型物質循環技術／省資源・省エネルギー製品	55	一般廃棄物、産業廃棄物およびそれらの焼却灰・飛灰から、希少金属を合理的に回収・利用する技術が確立され、都市鉱山として必要資源の 50%以上が供給されるようになる
	56	物質、エネルギー、水がコミュニティ単位で高効率に活用され、循環型社会が形成される
	57	多くの産業で、製品の製造から廃棄までのライフサイクルにおいて、生態系への影響を考慮したエコファクトリー化、低エントロピー化を実現する技術が開発される
	58	未利用バイオマス、廃棄物のガス化による発電および合成燃料製造技術が確立し、化石燃料への依存度を低減することに貢献する
	59	家庭単位の廃棄物処理・循環技術が確立し、家庭の廃棄物排出負荷が大幅に低下し、収集も不要となる
	60	廃棄物の回収・処理に関する製造者責任が法的に規定され、製品の90%以上がリサイクル(サーマル、ケミカル、マテリアル)される設計・製造・回収・再利用システムが一般化し、循環型社会が形成される
大気・水・土壌環境の汚染防止／循環型水資源利用技術	61	日本が技術的優位性を持つ、膜などの素材や水システム技術を足がかりに、オールジャパン体制で戦略的に開発を進め、拡大する世界の水ビジネスに進出、21 世紀の世界的課題の一つである水の分野で 30%のシェアを占め、課題解決に大きく貢献する
	62	世界中の人々が、安心して飲める水に容易にアクセスできるような経済合理的なインフラ技術や分散型システムが実現・普及する
	63	老朽化が進む上下水道の環境インフラの更新や再構築を効率的に行う技術が普及する
	64	国内外の土壌・地下水汚染問題を飛躍的に改善する効率的で経済的な除去・無害化技術が開発される
	65	シックハウス・シックビルなどの原因解明が進み、それらを早期に効果的に防止する技術が開発される
	66	化学物質の除去・無害化技術が進み、わが国からは土壌地下水汚染地域がなくなり、技術移転で途上国の土壌地下水汚染も著しく改善される
	67	土壌中の炭素・窒素の分解プロセスの解明がなされ、対策技術が開発される
その他境界・融合・新興領域	68	リスクトレードオフの評価手法(例:風力発電の希少猛禽類衝突死リスク管理など)が確立、その考え方を大多数の人が受け入れ、納得のいく公正な意思決定ができるようになる

第9節　No.9 分科会：物質、材料、ナノシステム、加工、計測などの基盤技術

1．検討範囲

No.9 分科会で設定された検討範囲は、以下の通りである。

①ナノ基盤材料

物質の創成・探索、原子・分子操作、構造制御、ナノ加工、融合化、機能組織化、統合化

②出口（プロダクト）

ナノ情報通信材料、エレクトロニクス材料、環境・エネルギー材料、社会基盤材料、マテリアルフロー（元素戦略）、バイオ・医療材料、環境触媒材料（作る、計測する、制御する）

③計測・分析手法

高分解能計測、極限環境計測、その場計測、複合・統合計測、ユビキタス計測・評価、汎用技術、量子ビーム応用

④モデリング・シミュレーション

大規模第一原理計算、マルチスケールシミュレーション、マテリアルインフォマティクス（広い意味でモデルシミュレーションに含まれる）、実験とモデリングを橋渡しする研究が不足している（基盤的な研究）、種（材料）とイノベーションをつなぐ研究、物性研究、基礎的研究、インフラづくり

⑤社会システム・その他

標準化（安全と関連）、安全・安心、安全・信頼プロセス、DB 化・アセスメント技術

2．要点

（1）本科学技術調査の経緯

我が国では、第 3 期科学技術基本計画(2006～2010 年)に基づいて、①知の創造による世界貢献、②国際競争力を確保した持続的発展、及び③安心・安全な生活の実現、を標榜し、さらに科学技術が目指す具体化された政策目標を設定して研究開発が推進されている。知の大競争時代に国際競争に勝ち抜くためには、基礎研究の強化を中心とした研究開発投資の着実な増加が望まれる一方、近年の厳しい財政事情の下で合理的な資源配分や成果の社会・国民への還元が強く求められる状況にある。そこで、「重点的に研究開発を推進すべき分野」（ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料）、あるいは「推進すべき分野」（エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア）を選択して、優先的に資源配分が行われてきている。その重点化の礎となる具体的根拠として、「デルファイ調査」などにより、科学的・経済的・社会的インパクトの評価や、国際的な科学技術のベンチマーク等を行うことが重視されている。これには、長期的な（25～30 年後の）科学技術予測を見据えた上での中期的な科学技術調査が重要であり、文部科学省「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査」(2005 年)が、第 3 期基本計画における研究開発の重点化の検討において果たした役割は大きい。

今般、第 3 期科学技術基本計画の半ばを過ぎた段階で、総合科学技術会議による第 4 期基本計画(2011～2015 年)の策定を見据えて、文部科学省科学技術政策研究所は、「第 3 期科学技術基本計画のフォローアップに係る調査研究」を開始した。その中で、「先端研究の動向」の調査を、PR11「第 4 期基本計画で重視すべき新たな科学技術に関する検討」として、「科学技術系の 12 分科会」及び「目標別の 4

分科会」に、その具体的な検討を諮問した。

科学技術系分科会は、中長期の先端的研究動向の俯瞰的な調査を行うための「重要な領域・課題」あるいは「将来の社会で必要とされる科学技術」について、具体的な科学技術課題を各段階で抽出する作業を行うこととされた。一方、目標別分科会は、社会的視点から科学技術の貢献が期待される「重要領域」を検討することとされた。この新たな検討体制は、前者を縦軸、後者を横軸としたマトリックス的なものであり、それにより既存の分野を超えた学際的かつ柔軟な議論を促そうとするものである。これは今回の調査検討法の大きな特色となっている。

このマトリックス的な検討体制が採用された理由は、調査活動を通じて学際的な発展を促したいという動機とともに、近年の科学技術に対する国民の高まる期待（あるいはアカウンタビリティ）、すなわち、「安心・安全な生活」の追求のような社会的目標や、社会・国民への成果の還元等を、より直接的にかつ調和のとれた形で反映していくべきという動機があると理解される。前回調査（前述の「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査」。以降同じ）においても、社会的インパクトの要素をある程度取り入れられていたが、今回の調査では、その傾向がより強まっていくと予想され、検討上の留意点となる。

（2）No.9 分科会の構成メンバー

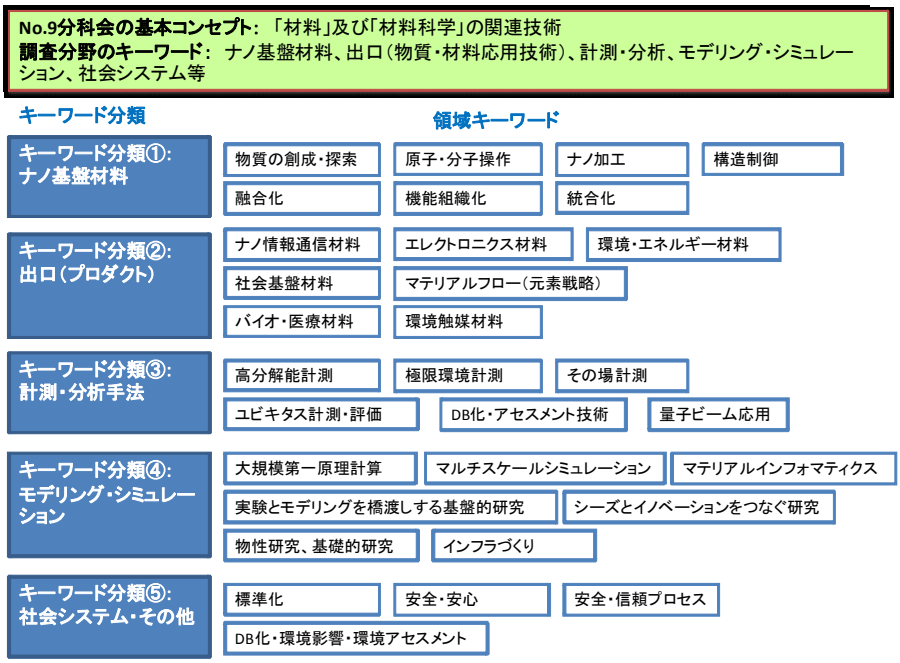
本調査の実施体制として、目標別の 4 分科会及び科学技術系の 12 分科会が設置され、我々の分科会は、科学技術系分科会の一つとして、「No.9 分科会」と命名されており、システム工学者等を含む材料科学技術諸分野の第一線の研究者・技術者で構成されている。「キーワード」・「科学技術課題」の検討に際しては、異分野間の議論を重視した。構成委員のリストは巻末の通りである。

（3）No.9 分科会の基本的な考え方

科学技術系分科会は 12 分科会全体で、分担して科学技術全体の技術予測調査をするものであり、本分科会の所掌範囲（境界条件）あるいは「調査分野」は厳密には定められていない。そこで、本分科会では、多分野の専門家である委員が、最初に調査分野を定義するキーワードを出し合い、自由に意見交換し、そこから調査分野のイメージを収斂させることから検討を開始した。下図に調査分野を検討した際の主なキーワードを示す。提案されたキーワードを、5 つの分類（キーワード分類：略称表記）、すなわち、
キーワード分類 1：ナノ基盤材料、
キーワード分類 2：出口（プロダクト）、
キーワード分類 3：計測・分析手法、
キーワード分類 4：モデリング・シミュレーション
キーワード分類 5：社会システム・その他
に分けて、全体分野を構成することとした。

個々の候補となる「科学技術課題」は、領域毎に分類して、後述の条件で逐一内容を検討して、取捨選択・統合・修正あるいは新規追加を行った。「科学技術課題」の検討に当たっては、学際性・融合性を重視するという観点から、前回調査での分野・領域設定に囚われることを極力避けつつ、一方では、他の科学技術系分科会との、大幅な重複を避けるように配慮し、蓋然的な分野の定義の下に検討を行った。その検討プロセスの基本的な考え方は、以下の通りである。

図表 3-3： No. 9分科会の調査分野と領域に関するキーワード分類



○調査分野の設定

・基本的コンセプトは「材料」あるいは「材料科学」

他の分科会が、デバイス、実機システムやその実用を指向していると推定し、本分科会では、基盤技術あるいは要素技術的な、「材料」関連技術を中心に取り上げることとした。最近の材料研究がナノテクノロジーと直結していることから、結果的には「ナノ・材料」という定義に近い部分もある。但し、前回調査におけるナノテクノロジーの領域を重視した分類方法については、踏襲していない。

・分類は入口（基盤技術）から出口（社会応用）へ

分類（キーワード分類）では、物質・材料の基盤技術として①ナノ基盤材料、イノベーションの出口として②出口（プロダクト）、横断的分野として③計測・分析手法、及び④モデリング・シミュレーション、そして、社会システムへの出口として、⑤社会システム・その他、を設定した。

前回調査の場合と比較すると、今回の領域設定（大分類）は、より広範囲になっており、今回の領域キーワード（中分類）が、前回調査の「領域」に相当する。将来個々の科学技術課題が学際的・融合的に発展すると見られることから、中分類による区別には拘らなかった。今後、政策的に「重点領域」を設定するような段階に至れば、中分類のカテゴリーで整理することが必要となるかもしれないが、本年度の本分科会のタスクとしては、あくまで具体的な「科学技術課題」を抽出することに主眼を置いた。

・「材料」がキーであれば他分野との重複をある程度容認

「材料」は、本質的に分野横断的な側面があることから、領域・課題設定においては、多少とも他分科会との重複は起こりえる。むしろ、どの分科会も取り上げないという「取りこぼし」が起きないよう努めた。もし

科学技術系分科会全体として最終的に分野間の重複が発生した場合には、確認と若干の調整が必要となるかもしれない。

・目標別分科会の目標を念頭に

「材料」研究は、本来基盤的かつ要素的という性格があり、イノベーションの「出口」あるいは「社会的インパクトと直接的に結びつきにくい場合が多々あるが、本分科会の検討では、デバイス・システムに属すると思われる領域・課題も検討対象に含めることで、学際性・融合性を重視するとともに、環境・エネルギー問題等に対応するものを相対的に重視した。また、「社会システム」のカテゴリーを敢えて領域（大分類）に引き上げた。

○今回の科学技術調査の意義

・見直しの必要性

一般に、中長期の科学技術予測では、2005 年以来わずか数年で本質的状況が大きく変貌することは考えにくい。しかしながら、ここ数年に亘っては、我が国を取り巻く世界情勢は、地球温暖化ガスの削減問題、エネルギー確保、あるいは最近の金融危機の勃発等、大きく変化しており、また国内においても、環境エネルギー問題への対処とともに経済不況の克服を同時に行うという困難な局面に至っている。特に、環境エネルギー問題に対する科学技術的な対応を、ますます効率的に行うことが求められるようになったと言える。また、2007 年に閣議決定された「イノベーション 25」など、イノベーション施策の推進は、成果の社会・国民への還元が強く求められる状況を端的に反映している。これら諸課題に対して「材料」基盤技術が寄与することは少なくない。

一方、近年の重点的な研究開発資金の投資により、既に当初の目的は概ね先が見えて、今後の重点課題として掲げる必要のないもの、あるいは中長期目標として十分高い目標になり得ないものも現れてきた。

このように移り変わる状況で、かつ、財政逼迫の情勢下では、第 4 期科学技術基本計画に向けて、「材料」あるいは「材料科学」分野に対しても、ますます研究開発の重点化が求められることは必至である。本 No.9 分科会では、これらの観点を考慮しつつ、具体的な「領域」・「科学技術課題」について、前回調査での科学技術課題からの取捨選択、見直しあるいは新規提案を行うこととした。

・科学技術予測の対象となる年代

前回調査では、30 年後までを主な対象年代としていた。今回の調査検討においてもそのことは基本的には変わらないが、「領域」・「課題」の選定に際しては、それらの性格に依存して、設定すべきターゲットの年代はかなり異なると考えられる。例えば、環境・エネルギー問題、高齢化問題などの社会的要請の強い課題や経済的要請については緊急性が高いことから、10 年程度の中期を目標とする課題が相対的に増すかもしれない。課題毎に異なる対象年代を設定した分析が必要となろう。

(4) 重要（候補）科学技術課題の選定

本分科会のタスクは、上記の分野・領域において、中長期の先端的研究動向の俯瞰的な調査を行うための「領域・課題」あるいは「将来の社会で必要とされる科学技術」を、科学技術課題として抽出することである。具体的な検討プロセスは以下の通りである。

○候補となる科学技術課題の条件

・バックキャスティングの考え方

将来の科学技術の姿を想定し、そこを基準として現在を振り返り、想定され得る発展を含めて候補科学技術課題を設定した。換言すると、単に予報的(フォアキャスティング)な設定ではなく、重点投資を行えば中長期(10～30 年後)に達成される「べき」科学技術課題を検討・選定した。平易に言うと、「簡単には実現しないが、将来の社会で実現すべき(夢の)課題」を選ぶように努めた。

・科学的・経済的・社会的インパクト、国際的な科学技術のベンチマーク

提案科学技術課題については、異なる諸分野の第一線の専門家である各委員の間で、科学的・経済的・社会的インパクト、及び国際的ベンチマーク等の総合的な観点から、議論し取捨選択した。各専門家の学識に基づき、既に概ね達成されている事柄、あるいは、特段の施策を講じなくても数年後に達成されると見込まれる事柄は、例え現在重要であっても除外した。また、達成の目処が殆どないと判断されるような事柄も除外した。

科学技術課題検討の過程で、特に配慮したことは、課題の記述について、「達成度や科学技術的意義が具体的に判断され得る記述にすること」である。重要性が感じられてもターゲットが非常に曖昧な課題は除外した。重要ではあるものの具体的に達成度が判断し得ない科学技術課題は、必要な目標数値レベルを入れて明確化するなどの修正を行った。カテゴリーが広すぎるものや、狭すぎるものは、統合等によりカテゴリーを揃えるように努めた。

反面、環境関連課題など、技術内容が複雑多岐に亘りかつ社会的インパクトの高いものは、多少曖昧な記述も許容した。

・「材料」関連諸分野のバランス

本 No.9 分科会の調査分野は、非常に多岐に亘るが、全てを網羅することは難しく、また調査の本意ではないと考えられる。そこで科学技術課題総数は、70 件程度に限定することを目指した。個々の科学技術課題検討に際しては、領域間の課題数のバランスは考慮せずに検討を進め、最終的に全体の検討結果を俯瞰して、①ナノ基盤材料 20 件、②出口(プロダクト)20 件、③計測・分析手法 10 件、④モデリング・シミュレーション 10 件、⑤社会システム・その他 10 件を目安とすることとした。前回調査の科学技術課題数に比べて、今回は総数を圧縮しつつ、新規提案や環境・エネルギー分野や社会システム分野を相対的に重視したため、既存分野の科学技術課題についてはかなり厳しい選択を迫られた。できるだけ広範かつフェアに選択することに努めつつも、代表的な科学技術課題に限定せざるを得なかったところがある。既存分野においては重要なテーマであっても、上記の判断基準に照らして、漏れてしまったものはある。今後の調査では、柔軟性を失わないような工夫をするべきであろう。

○他の科学技術系分科会や目標別分科会との相互作用

本 No.9 分科会の検討では学際性・融合性を重視し、前回調査では、デバイス・システム関連の分科会に属していた科学技術課題も、検討対象として吟味し、「材料」的側面がキーとなる場合は積極的に採択した。また、「⑤社会システム」のカテゴリーに属すると見なせる科学技術課題は前向きに採択した。これは目標別分科会の方向を意識してのものである。

本 No.9 分科会としては、これらインタラクティブな検討を念頭に置いて進めてきたつもりであるが、具体的な関連情報と調整機会は十分には得られなかった。特に、目標別分科会の重要領域設定のスタンスと

科学技術系分科会の科学技術課題設定のスタンスは若干開きがあると認識しており、今後の確認・調整が必要であるかもしれない。あるいは、本分科会としては、「部品」を提供するという立場であり、まとめ方等を工夫することで対処できるかもしれない。

以降において、科学技術領域①から⑤の検討内容について、それらの各論を説明する。

（岸本　直樹）

3. 各区分の概要

①ナノ基盤材料

ナノテク分野の基盤をなすナノ基盤材料研究は極めて重要な領域であり、産官学連携をはじめ垂直・水平連携による広域な取り組みが必要である。これには、従来の方法を超える原子・分子操作を可能とする新反応・プロセスと新触媒の開発、これによる物質の探索と創成、およびそれらの新加工技術の確立が求められている。あわせて、異分野の成果や技術の統合化や異種材料の融合化も重要である。

とくに、ナノスケールでの高次構造制御は、自己組織化、複合化、ミクロ相分離などによる異種物質の機能組織化であり、飛躍的な高性能、高機能と新たな材料を有機、無機、金属におよぶ異種材料の融合化により生み出すことが見いだされており、省材料（小型化）、軽量化による省エネルギーを実現可能とする魅力的な分野である。ジェットエンジン用の超耐熱合金も課題である。

能動型ソフトマテリアルには、外部刺激に応答してマクロスケール変形する材料、自己修復型の高分子材料、大面積で自己組織構造を持つ有機半導体などが期待されており、電子・電気などの先端技術と安全・安心社会を材料レベルから支える重要なテーマといえる。

また、ナノレベルでの構造の多様性、再生可能な素材である有機材料の可能性は大きく、室温以上のキュリー点を有する有機材料、金属同等の電気伝導度を有する高分子材料、液体窒素温度以上の超電導高分子材料などに大きな期待が寄せられる。

非石油原料由来（植物・微生物の利用を含む）の基礎化学原料のプロセス創出は、環境や省エネルギーの問題解決の鍵を握る課題であり、クリーンエネルギー（太陽エネルギーの変換効率向上課題）と並んでグローバルな持続的社会実現のために不可欠な課題といえる。また、設備長寿命化のための表面改質技術、自己潤滑技術、低ロス蓄電・送電技術も省エネルギーを実践的にサポートする革新技術となる。

ナノ加工は、ナノスケールの三次元集積加工技術や型成形技術、あるいはオングストロームオーダーの超精密プロセス技術を意味し、超LSI用絶縁材料、半導体ダイヤモンド、さらには、次世代エレクトロニクス分野には欠かせない課題といえる。また、鉛フリー強誘電体も環境面で切望される材料である。

生体材料においてもナノ材料の期待は大きく、人骨と同等の機能を有する生体材料や高次構造を有するタンパク質の化学的合成法の創出が課題となっている。

（北野　彰彦、澤本　光男）

②出口（プロダクト）

【環境・エネルギー系材料、社会基盤・産業基盤材料】

地球環境問題の最大の原因は、人間活動による資源・エネルギーの大量消費と廃棄による環境負荷の急激な増加であり、気候リスクのみならず、資源リスクにより、近い将来に人間社会の基盤となる地球生

命圏を破壊するとの認識が全世界で共通化しつつある。京都議定書の基準年であるバブル期の予測をはるかに上回る速度で地球環境問題が深刻化し、社会情勢、経済活動の国内外の状況は大きな転換期を迎えている。産業の活性化と地球環境問題を両立させるための革新的な技術を創出するための基礎を築く本分野は急速発展が期待される。

（技術的重要性）

ナノテクノロジーによる最先端材料科学・技術（要素技術）を“ものづくり”に生かし、世界トップレベルの環境技術を創出し、グローバルに実践し普及させるための技術開発が強く求められている。そのためには、環境効率を上げることを第一の条件に、実用材料の更なる性能向上を計るとともに、ナノテクノロジーによる新物質・材料の開発と用途展開のための要素技術の開発が極めて重要となる。

環境・エネルギー問題は、現在人類が直面する大きな課題であり、熱電発電、太陽光発電および燃料電池に関わる課題は、新エネルギー源の創出やエネルギーの有効利用の観点で重要である。熱電発電は、未利用の工場廃熱や太陽熱を有効に利用できるだけでなく、電子冷凍などに応用することができ、高性能電子機器の開発にとって重要な技術である。太陽光発電および太陽光を利用した水素製造は、環境・エネルギー問題を同時に解決しうる方法として、継続的な研究が必要である。特に、太陽電池の主要な原料であるSiは有限であることから、高効率な薄膜太陽電池の実用化が望まれる。燃料電池は、高効率でCO_2の排出の少ない発電方法として、広汎に研究が進められている分野である。特に、自動車への燃料電池の搭載には、軽量化、耐久性、高容量化など解決しなければならない技術的課題が多いが、環境・エネルギー問題や産業構造に及ぼす影響が大きく、今後、強力な研究が求められる。分離膜に関する研究は水素製造あるいは燃料電池に関わる重要な要素技術であり、高性能分離膜の開発は波及効果が大きい。核融合発電の実現のための技術課題は多方面に渡り、その実用化は容易ではないが、成功すれば、環境・エネルギー問題を究極的に解決できることから、継続的に研究を推進しなくてはならない。深紫外レーザ関連の課題は、レーザの発振効率を飛躍的に向上することから、省エネルギーの観点で有効であるだけでなく、短波長のレーザを用いての汚水中の有機物を直接分解など、環境問題への波及効果も期待できる。高性能なセラミックス材料に開発は、内燃機関やタービンの、動作温度の向上、軽量化、小型化などによるエネルギーの高効率化や、高信頼性の構造材料による安全・安心社会の構築への貢献も大きい。

（社会的重要性）

我が国では、機能重視から環境重視・人間重視の技術革新・社会革新としてのエコイノベーションにより、優れた環境技術を活かして生産システム、社会的インフラ・国民生活をより良いものに変革する施策が推進されつつある。このエコイノベーションへの展開を促進し、環境技術という日本の強みがサステナブルな産業、社会、生活を生み出す方向へ展開するための革新技術の創出が重要となる。

（将来性）

近年のナノテクノロジーを支える基盤技術の発展により、新しい現象や機能が次々と見つかっているが、古い価値観で高機能を追い求めるという時代ではない。全ての材料技術に対し環境効率の概念が不可欠で、環境調和と経済成長が両立するために貢献できる技術が、これからの時代に求められる。

【医療系材料】

様々な幹細胞の研究が急速に進歩し、その結果、細胞や組織を含む再生医療関連医療機器の研究

開発が精力的に進められている。来る高齢化社会の医療費削減という社会的ニーズからも、生体の有する治癒力を利用した自己修復型再生医療の実現が望まれる。

（技術的・社会的重要性）

医療分野における新技術の技術的・社会的重要性は極めて高いが、その技術的完成に続いて、安全性確保などを含む臨床化、さらに、その社会的産業化という、異なる開発ステージが存在する。そこで、課題の作成においては、これらのステージを明記するように配慮した。

（将来性）

常にリスクを伴う医療関連分野では、リスクとベネフィットを定量的に考慮する社会的コンセンサスが重要である。欧米に比較して、リスクを重要視する我が国では、常に、開発が遅れる傾向にあることは否めない。今後、安全性を担保するための学問領域・技術開発分野を我が国独自の戦略で設立することが、将来性を大きく発展させることにつながる。

（後藤　孝、鈴木　淳史、山岡　哲二）

③計測・分析手法

ナノ計測・分析技術は、全てのナノテクノロジー分野において、開発から応用に至るまで必要不可欠な共通基盤技術である。当該分野では、ナノ～メソ領域の材料がもつ特異なモロフォロジーや構造が物性とどのような相関をもっているかを原子・分子レベルで明らかにできる、高分解能、その場、極限環境、複合・統合、量子ビーム応用、DB 化・アセスメント技術をキーワードにし、以下に11 件の科学技術課題を提案する。

（継続・修正課題）

遺伝子情報をベースにした創薬への応用として、タンパク質の高次構造から、タンパク質間、DNA や RNA との相互作用などを計測・分析できる技術である。ライフサイエンスの様々な分野の発展を支える基盤として大きな意味合いをもつ。

「1つの細胞を試料として、細胞内の全てのmRNAの種類とコピー数を計測できる装置（課題1）」は、細胞1つ1つを精度よく定量することで、遺伝子情報のDB化・アセスメント技術につながる。「20 個以上の糖単位が連なった糖鎖の配列を、分岐やリンケージを含めて自動解析する装置（課題 2）」は、創薬のみならず、遺伝情報の解明に重要な中核技術となる研究である。

金属材料は自動車、航空・宇宙などの産業だけでなく、社会的インフラであるガスタービン、原子炉に至るまで、幅広く利用される基盤材料の一つである。従って、的確な使用状態の計測・評価は社会的インフラメンテナンス技術として重要である。

「金属材料の疲労を非破壊検査し、残存寿命を使用状態で推測する技術（課題 3）」は、表面に露出していない、埋もれたナノ構造を評価する。さらに、稼働している装置やシステムを止めたり、解体したりすることなく、使用状態のままで（その場）、金属のみならず様々な材料の寿命を評価できる技術を目指す。「超高温・高圧反応など極限環境でのその場観察技術（課題 4）」では、原子炉やタービンなど極限条件に特化した計測・評価技術を目指す。

近年、走査プローブ顕微鏡を筆頭に、電子顕微鏡、量子ビーム（光電子、電子、X 線、中性子など）を用いた分析手法は、単原子・分子の 1 つ 1 つを観測し、化学状態や物性を評価できつつあるが、データ

の精度、定量性、汎用性に課題がある。

まず、「原子識別イメージングが可能な収差補正・超高分解能電子顕微鏡（分解能が 0.05nm）（課題5）」では、既存の電子顕微鏡をさらに高度化させ、原子識別だけでなく、サブナノメートルの空間分解能で局所部分の化学組成や状態分析を実現させ、材料評価の精度や定量性を高度化する。次に、「1 ナノメートルの空間分解能で、化学状態、定量分析、イメージングが同時に取得できる汎用計測技術（課題6）」では、ナノ～メソ領域で機能を発現する太陽電池、燃料電池、触媒などの固体材料から、ポリマー、有機分子膜、生体材料などのソフトマテリアルまで、汎用性の高い複合的・総合的計測・評価法を目指す。一方、究極のプローブ技術として、「環境制御雰囲気下で、原子・分子を1個1個観察しつつ、化学組成や化学状態の情報が得られるプローブ技術（課題 7）」の実現を目指す。触媒、電池、生体材料などが機能するその条件またはそれに近い環境下で、それぞれがもつ構造と化学機能との相関に関する情報検出できる技術を目指す。こうした先端計測技術は新たな社会的ニーズの発掘とともに、知的財産として重要な位置づけとなる。

（新規課題）

日本は KEK-Photon Factory, PF-AR, Spring-8 など有数の放射光研究の先進国であり、極めて質の高い量子ビームを作り出している。しかし、欧米（ESRF（EU）,APS(米),ALS（米））に比べ、産業への積極的利用が低い。ここでは、放射光の優れた光源を利用し、ナノ～メソ材料に適した複合的・総合的計測・評価技術を提案する。

「パルス中性子散乱によるナノスケールの構造解析（課題 8）」「パルス中性子散乱イメージング解析技術による非破壊検査技術（課題9）」は中性子がもつ物質への大きい透過能、核散乱、磁性粒子の性質を用いることで、ナノ材料の構造だけでなく、埋もれたナノ構造の解明を可能にする。「放射光によるナノ～メソスケール材料の計測・分析技術の高度化：10 ナノメートル以下の空間分解能、0.1eV 以下のエネルギー分解能、マイクロ秒以下で化学状態、定量分析、イメージングが取得できる技術（課題 10）」では、様々な波長の光源が利用できる放射光の特長を生かした構造、化学状態、定量分析、イメージングを同時に高速で取得できる技術を構築する。「放射光による in situ, operando, time-resolved X 線吸収分光法の高度化（課題 11）」、ナノ材料の多くは長距離周期構造を有しないため、回折法による構造解明が難しい。一方、X 線吸収分光法はこうしたナノ材料においてもサブ Å の分解能で構造を決定でき、しかも高温、高圧、磁場、溶液、電荷など、測定条件にほとんど制限がない。日本は X 線吸収分光法の先進国であるが、欧米に比べ、産業利用に適した in situ、 operando、 time-resolved X 線吸収分光法の発展が遅れている。ここでは、既存の X 線吸収分光をさらに高度化し、上述課題（課題 8～10）の手法と組み合わせることで、産業利用を視野に入れた総合的構造解析手法として発展させる。

（田　旺帝）

④モデリング・シミュレーション

計算科学は、材料・物質研究を支える理論と実験に並ぶ第3の柱として注目を集めている。近年の計算機の飛躍的な能力向上と計算技術の進展により、その応用範囲は格段に広がりつつある。その重要な方向として、以下の3つが挙げられる。まず第1は、第一原理計算と呼ばれる手法に基づいたシミュレーションを材料研究に広く応用することである。これは物質の構造や特性の起源となっている電子状態を、量子力学の原理のみに基づいて、実験値などの経験的な入力値を用いることなく精確に計算するというもの

である。熱力学物性値を理論計算することにより、熱・統計力学に基づいた材料設計やプロセス設計が可能になる。また分光分析実験結果を的確に解釈するためには第一原理計算によるシミュレーションが不可欠であり、材料評価に果たす役割も大きい。材料研究のツールとして、このような計算手法の応用範囲を広げることは重要課題である。また手法自体についても、さらなる発展が必要である。超高精度量子化学手法の開発と応用、次世代スーパーコンピュータ、グリッドコンピューティングなど革新的ハードウェアで初めて可能となる大規模材料計算技術などがその典型的な例である。また情報科学手法との組み合わせによるマテリアルズインフォマティクス技術にも今後の急速な発展が期待される。

計算科学の材料研究への応用が期待される第2の方向は、電子スケールから原子、メゾ組織、マクロ組織、工業部材までマルチスケールでのマルチフィジックス材料シミュレーション技術である。材料研究には、対象とする時間・空間の階層構造に応じた研究手段が必要であるが、それらを横断的に連携させるために必要となるのがマルチスケール技術である。このためには学域を超えたマルチフィジックス手法を確立することが重要課題である。第3の方向は、計算を材料研究に的確に応用するために不可欠である材料モデリングのための基盤的物性実験技術である。計算科学の精度が向上し、現実的な材料系についての計算が可能になってくると、それと対照させるための質の高い実験的情報が不可欠となる。高精度の情報を生み出す計算科学手法の存在を前提とした、「計算科学と連携する基盤的物性実験技術」という領域を早急に整備する必要がある。

（技術的重要性）

実験に基づいた経験的手法を適用することが技術的に困難である材料系や新奇物質、新奇物性に対して計算科学手法を用いると、迅速かつ精確に、そして物質や環境条件に対して網羅的に情報が獲得できる。これによって合理的かつ高効率な材料開発が可能となる。また使用状態での材料挙動のシミュレーションを行うことにより、残存寿命や生理学的安全性の評価・推測が可能となり、その社会的意義も極めて高い。

（将来性）

わが国では、次世代スーパーコンピュータ計画およびそれを核とした学域を超えたコミュニティ造りをはじめとする、さまざまな研究計画が現在進行中である。しかし、このような技術を実用に結びつけるために、技術そのものの高度化、応用技術の拡張、高度人材養成など今後も不断の努力が必要である。そのような努力と継続的な研究投資があって初めて、高い将来性が期待できる。

（その他）

すでに欧米では様々な材料分野での計算科学手法と材料技術との連携が進められている。今後もわが国の材料技術が高い国際競争力を維持するためには、計算材料科学分野での大きな進展と実験的研究との連携が不可欠である。

（田中　功）

⑤社会システム・その他

ナノテクノロジーを代表とした物質工学は急速に進歩し、それに対応して実用化もまた急速である。実用化が進むことにより新しい物質・材料は、様々な部品、製品を通じて、工業、産業との関係を強め、社会システムとも一層強く関わることになる。

社会システムとの関連が強まると、各技術は、単に機能・性能が高く、あるいは高効率であるだけではなく、安心・安全あるいは環境負荷についても十分に対応していることが必要とされる。

本分野では、上記の状況を踏まえ、標準化／安全・安心／安全・信頼プロセス／DB化・アセスメント技術の諸点をキーワードとし、新しい物質・材料技術の工業化、産業化を推進し、かつ社会システムにおける安全等を実現する基盤技術に関する課題を検討した。

（技術的重要性）

新技術の社会システムでの広範な実用化のためには、実用化を支える基盤技術の充実が重要である。例えば、ナノ材料についての分析技術の標準化、ナノスケールやフェムト秒オーダーを対象とした実用的なプロセス技術の実現、バイオ技術の効果的な活用を可能とする用途の実用化、環境情報や生物情報の広範囲なモニタリングを可能とするセンサネットワークの実現等を重要課題とした。

（社会的重要性）

社会システムと技術のかかわりで考慮されるべき種々の要因のなかで、最も重要なのが安心・安全の確保である。社会システムとかかわる技術自体の安全・安心に関しては、例えば、人が直接触れる化粧品、体内に取り込まれる食品・医薬についての安全基準の策定が必要とされる。加えて、人や家畜の感染を防ぐための技術開発も重要課題である。

（将来性）

既に、広く使用されている材料等に関する、人の健康や環境に対する影響計測・影響評価についての技術開発は、今後も重要な課題であり続ける。加えて、製品の製造から再利用までのライフサイクル全体に関するデータベースの構築は、社会システムと調和した技術進歩を実現するための重要課題である。

以上のような基盤技術の重要性は、将来的に、社会システム全般で増大する技術の役割と共に、持続的に強まっていくと考えられる。

（池澤　直樹）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
ナノ基盤材料	1	再生可能で非可食の植物資源から基幹分子(特にポリオレフィン系高分子材料)を量産する化学プロセス
	2	能動型ソフトマテリアルが開発されるためのマクロ変形アクチュエータ材料、高分子材料、有機半導体
	3	自己組織化による 10nm 以下の産業用ナノ構造制御技術
	4	蓄電、送電時のエネルギーロス低減材料
	5	ナノスケールの構造制御、界面制御により異種材料を複合化した新機能材料
	6	ナノメートルスケールの産業用 3 次元集積加工技術
	7	安価で簡便なナノメートルスケールの型形成技術
	8	完全な高次構造をもつタンパク質の化学的合成法
	9	人骨とほぼ同等の機能を有する生体用コンポジット材料
	10	室温以上のキュリー点をもつ全有機強磁性体
	11	室温で銅と同等の電気伝導度と耐環境性を有する高分子材料
	12	圧電率が PZT（Pb(Zr,Ti)O3）なみの鉛フリー強誘電体
	13	液体窒素温度以上に転移点を持つ高分子等新規超電導材料
	14	耐用温度 1200℃以上の超耐熱合金材料

区分	番号	科学技術課題
	15	誘電率 1.5 以下の超 LSI のための実用絶縁材料
	16	オプトエレクトロニクス実用の半導体ダイヤモンド」
	17	デバイス・生産設備の超長寿命化（現在の 2 倍以上）のための表面改質・トライボロジー」
	18	高効率の人工光合成技術」
	19	非石油系材料で植物・微生物の作用を用いた、燃料・バイオプラスチックの量産技術
	20	加工機械に潤滑油を不要とする自己潤滑機能をもった実用機械要素
	21	ビーム技術（イオン、電子、レーザなど）、装置の制御技術およびセンサ技術の高度化による、オングストロームオーダーの超精密プロセス技術（加工・分析・試験・in-situ モニタリング）
	22	ナノオーダーレベルでの高次構造制御をボトムアップ型アプローチ（自己組織化）を活用して行うことによる高付加価値製品の製造技術
出口（プロダクト）	23	メタマテリアル（負の屈折率物質）を用いた光学素子
	24	変換効率 10%以上の熱電発電モジュール
	25	抗凝固剤の不要な抗血栓性人工弁・血管の臨床化
	26	曲げ強度が 2000MPa で、破壊靭性地が 15MPam1/2 を越える構造用セラミックス材料
	27	深紫外半導体レーザ
	28	低コストで変換効率 20%以上の大面積薄膜太陽電池
	29	不揮発性のロジック LSI
	30	実用経済的な核融合炉用のプラズマ対向材料及び高速増殖炉も含めた耐照射材料
	31	生体エネルギーで半永久的に動き続ける体内埋め込み健康管理デバイス
	32	希少金属を用いない実用経済的ハイブリッド自動車用の高効率燃料電池
	33	環境に CO_2 を排出せずに石炭から水素を製造する材料技術
	34	太陽光と水で高効率に水素を製造する生産プロセス
	35	水素密度 10wt%以上で放出温度 100℃以下を実現する高密度水素貯蔵材料
	36	低環境負荷元素による新しい材料・デバイスの開発（鉄系高温超伝導体、環境半導体）
	37	移植用心臓を数日間保存できる保存液・技術（心臓 2 日・腎臓 1 カ月）
	38	機能性スキャホールドによる、再生型人工血管の実用化
	39	すべての薬物の経口投与を可能にする製剤技術
	40	動物由来組織に脱細胞などの処理を施した移植用組織の国内臨床化（皮膚・血管・弁・神経など）
	41	人工角膜材料の産業化
	42	ほ乳類受精卵を孵化させるための人工システム（人工胎盤）の実現
	43	幹細胞の分化誘導を精密に制御できる人工ニッチ材料（基材）の開発
	44	再生可能エネルギー源（太陽光・風力・海洋エネルギー）を活用するための低環境負荷材料
	45	風・音波等の微小振動や微小変化から発電する素子
	46	CO_2 削減のための炭素循環制御技術
	47	フォトニック結晶を用いた光集積回路
	48	スピン運動を原子・分子レベルで測定・制御する技術
	49	高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を経済的に核変換して、廃棄物量を激減させる技術
	50	蛍光灯に代わる照明用の有機高分子面発光体
	51	ナノポアによる原子・分子の高効率分離膜
	52	環境調整機能を持った内外装材料
計測・分析手法	53	1つの細胞を試料として、細胞内の全ての mRNA の種類とコピー数を計測できる装置

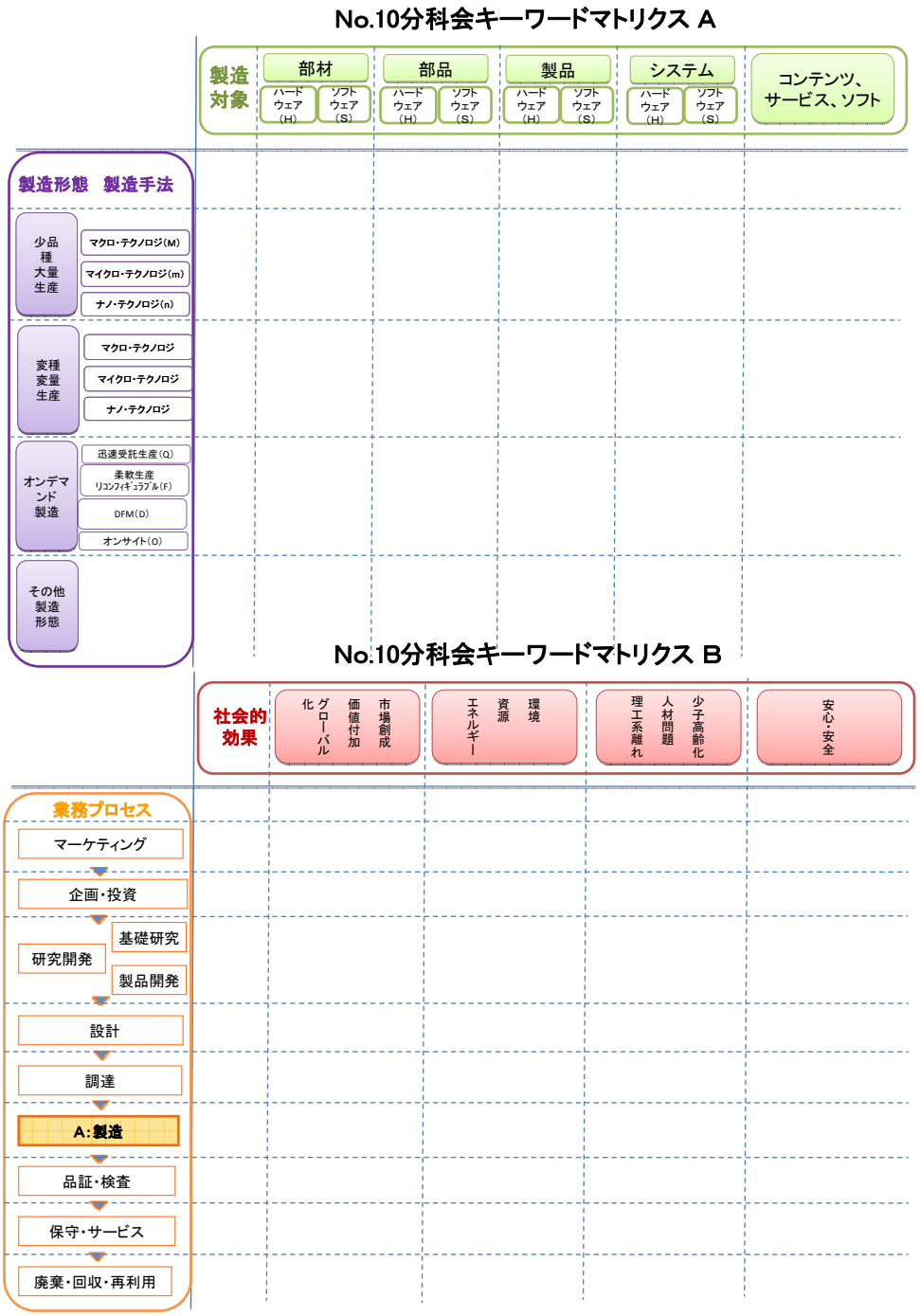
区分	番号	科学技術課題
	54	20 個以上の糖単位が連なった糖鎖の配列を、分岐やリンケージを含めて自動解析する装置
	55	金属材料の疲労を非破壊検査し、残存寿命を使用状態で推測する技術
	56	超高温・高圧反応など極限環境でのその場観察技術
	57	原子識別イメージングが可能な収差補正・超高分解能電子顕微鏡（分解能が 0.05nm）
	58	1 ナノメートルの空間分解能で、化学状態、定量分析、イメージングが同時に取得できる汎用計測技術
	59	環境制御雰囲気下で、原子・分子を 1 個 1 個観察しつつ、化学組成や化学状態の情報が得られるプローブ技術
	60	パルス中性子散乱によるナノスケールの構造解析技術
	61	パルス中性子散乱イメージングによる非破壊検査技術
	62	放射光によるナノ～メソスケール材料の計測・分析技術の高度化：10 ナノメートル以下の空間分解能、0.1eV 以下のエネルギー分解能、マイクロ秒以下で化学状態、定量分析、イメージングが取得できる技術
	63	放射光による in situ、operando、 time-resolved X 線吸収分光法の高度化
モデリング・シミュレーション	64	材料モデリングのための基盤的物性実験技術
	65	第一原理計算に基づいたシミュレーションを材料設計，プロセス設計，材料評価に応用する技術
	66	超高精度量子化学手法を高機能分子設計に応用する技術
	67	マテリアルズインフォマティクス．計算と実験に基づいた情報獲得，整理（データベース化）と応用技術
	68	次世代スーパーコンピュータ，グリッドコンピューティングなど革新的ハードウェアで初めて可能となる大規模材料計算技術
	69	電子スケールから原子，メゾ組織，マクロ組織，工業部材までマルチスケールでのマルチフィジックス材料シミュレーション技術
	70	分子における機能―構造相関解析技術の高度化と高機能・高付加価値分子の精密設計技術
	71	界面および表面反応の定量的シミュレーション技術
	72	材料の非破壊検査と使用状態での残存寿命推測技術
	73	材料の使用状態での生理学的安全性の評価・推測技術（ナノ材料の安全性，材料の化学的安定性など）
社会システム・その他	74	ナノ材料における分析技術の標準化と自動化（試料つくり、計測、解析、ソフトウェアなど）の実現
	75	ウイルス等の院内感染連続モニターシステムのためのセンシング素子・材料の実用化
	76	食品や環境の安全をその場で確認できる超小型化学分析システム
	77	家畜の異常を早期に察知するため、圃場・畜舎・養殖池等の環境情報や生物情報を高感度かつリアルタイムにモニタリングするセンサネットワークの実用化
	78	DNA に基づく個人認証を迅速に行う携帯型認証技術の実現
	79	ドラッグデリバリーシステム（DDS）のカプセル材料や投与量についての安全基準の策定
	80	化粧品、食品などの消費財に関するナノ粒子使用の安全基準の策定
	81	材料のライフサイクルアセスメント（LCA）のデータベースの確立とそれを用いた、製品の LCA を算出する技術の実用化
	82	発がん性、内分泌かく乱性等を持つ微量水質汚染物質に関する精度の良い計測・影響評価技術
	83	ナノスケールオーダーの長さ、変位、表面粗さの測定やフェムト秒オーダーまでの計測が、製造工程で実用的に使えるプロセス技術の実現

第10節　No.10 分科会：産業・社会の発展と科学技術全般を総合的に支える製造技術

1. 検討範囲

No.10 分科会で設定された検討範囲は、以下の通りである。

図表 3-4:　No. 10分科会における検討範囲のフレーム



2. 要点

科学技術戦略の中で製造技術をどのようにとらえるか。まず、本 No.10 分科会における議論はそこから始まった。「もの造り」が科学技術立国を象徴するキーワードとして語られ、中でも「製造技術」は産業に最も近い「もの造り」の技術、あるいは製造産業技術そのものとさえ認識されている。しかし、学術的な基礎研究からプロトタイプの製造を目的とした応用研究に至る高度な研究開発活動は優れた製造技術が支え、製造技術そのものに関する研究開発も高度な研究が支えている。また、製造技術は、小さな装置、工場、巨大なプラント、高度な研究機関など様々な大きさの物や場所で用いられている。製造に伴うエネルギー消費と廃棄物の排出は環境問題に密接に関係し、製造に携わる人々の育成や生活基盤まで考えると、国のレベルで直接的に社会にも深く関係していることに気付く。

一方で、製造技術の対象も形のある物体から形のないソフトウェアにまで及び、その規模も産業として相当の規模に達している。また、視覚や聴覚に接することで価値が認められるコンテンツについてもかつてのように芸術家だけが産み出す領域ではなくなり、既に製造する技術や一般的な市場も存在して産業として成立している。以前はサービスと言えば製品のアフターサービスを指すことが多かったが、現在にあってはこうしたソフトやコンテンツに深く関連したサービスも製造技術とは切り離すことはできない。前記のソフトやコンテンツ、サービスの総称としての「ソフトウェア（ソフト）」と、ユーザが直に触ることができる「ハードウェア（ハード）」とを比較した場合、このハードウェア、つまり階層的に分類できる製品（部品・部材、製品、システム）のいずれにおいても質・量ともに対応するソフトウェアが存在する時代になってきた。

さらに、純然たる技術開発から生まれる価値だけでなく、市場、すなわち人々が潜在的に欲する価値を導きだし、その価値に向けて最速最廉価に製品を製造する技術もますます重要になってきた。バリューチェーンという考え方やそのための設計法も、これまでは企業のノウハウであったが学術的な研究対象にもなっている。従来の技術では、既に存在している市場に対して如何に効率的に製品を製造することが重要であったが、今後の技術では、新たな価値創出を設計して市場を創成するためのバリューチェーンに対応する柔軟性と即応性が新たに求められていると言えよう。

市場創成という観点では、新規市場創成が我が国の科学技術の最弱点と認識されて久しい。膨大な国家予算が投じられても、独創研究からなかなか新しい市場は生まれてこない。こうした背景を考慮すると、マーケティングや基礎研究から製品開発と市場創成に至る業務プロセスにおける製造技術の課題は科学技術立国の政策課題として極めて重要な意味を持つ。

以上のような共通認識のもとに、No.10 分科会では科学技術全般・産業・社会との総合的な関連において製造技術をとらえ、産業技術に関わる製造技術と社会問題が関わる製造技術の両観点から次世代の課題を考えることにした。まず、キーワードマトリクス A では縦軸に少品種大量や変種変量などの製造形態・製造手法をとり、横軸に部品、部材、製品、システム、コンテンツと製造対象をとりそれぞれにハードとソフトを掲げた。この分類は比較的オーソドックスな分類である。一方、キーワードマトリクス B では縦軸に基礎研究から製品開発、市場創成までの業務プロセスをとり、横軸に社会的効果として市場創成、エネルギー・資源・環境の問題、少子高齢・理科離れ・人材育成の問題、そして安全安心の問題を取った。その結果、科学技術や産業技術として取り組むべき問題と、社会問題の解決に向けて取り組むべき問題が明確になってきた。いずれにしても、上記の新たな観点でまとめたこれらのマトリクスが製造技術のさらなる発展と、これによる社会問題の解決のための活発な議論を呼ぶことを期待している。

（北森　武彦）

3. 各区分の概要

①少品種大量生産

我が国は、製造によって原材料に付加価値をつけることで国富を得、これを世界の中での存立の重要の一つとしている。ここ 10 年余りの間、BRICS などの新興国、特に東アジア諸国での生産技術力が飛躍的に向上しており、従来国内で製造されてきた製品の製造のこれらの国々に移行への流れは強い。これは、高付加価値製品は国内での製造、汎用品は海外での製造といった流れに他ならない。汎用品は少品種大量生産によって生み出される製品であり、国際競争のもとでの付加価値付与の面からみると我が国での製造は今後縮小する可能性はあるものの、このことは技術開発が我が国外に散逸することを意味するものではない。むしろ、我が国国内での技術開発は活性化するであろうとの見通しのもとに、ここでは以下の課題を設定した。

（柳本　潤）

②変種変量生産

製造業における生産は、均一化した製品を大量生産することで、需要に見合う供給、高度な品質の確保、コストダウンを成し遂げてきた。物があふれる豊かな社会においては、ユーザーニーズの多様化が顕著になるため、そのユーザーニーズに応える生産数、製品種を実現する製造形態が求められてくる。この製造形態が変種変量生産であり、QCD（品質、コスト、納期）を適正に維持しながら、多種多様な製品を少量から中量まで生産するための製造形態、製造手法である。この製造形態では、新たな機能をもつ高機能デバイスの創出と、その普及の促進も期待される。

（技術的重要性）

変種変量生産では、従来の製造設備に用いられた手法、機器のみではなく、新たな要素が必要になってくる。例えば、自然や生物の機構に学んだ新たな機構を取り入れること、また、安全、かつクリーンであること、さらには、フレキシブルな生産に対応できるソフト、ハードの構築などである。また、これらの要素を盛り込んだ変種変量生産の実現は、マイクロ・ナノ領域などで新しい機能デバイスが創出と、それを普及させるという側面をもち、重要な技術領域である。

（社会的重要性）

多種の製品を製造することによって、ユーザの選択肢は広がり、ユーザーニーズの多様化に応えることができる。また、新たな機能を実現する高度な製品を製造する製造形態であり、潜在的ニーズを喚起することにもつながる。さらに、QCD を満足する製造設備として具現化することで、製造業の強化がなされていく。

（将来性）

ユーザの需要数を満たし、低価格化を実現する大量生産と、ユーザの意思をそのまま製造に反映できるオーダーメイド的なオンデマンド製造との中間に位置する製造形態として必要不可欠な領域である。また、新機能をもつ新製品を実用化するための製造形態として発展していくと推察される。

（古田　一吉）

③オンデマンド製造

社会のニーズの多様化とその変化の加速化に伴い、製品在庫の極少化と短納期対応の両立が企業生き残りの鍵となっている。そのため、生産形態も見込み生産から受注生産に近い生産形態に移行している。組み立て産業ではこの移行はかなり進んでいるが、化学や鉄鋼と行った装置産業では、連続生産が主流であることと生産のリードタイムが長いことからこの移行は十分進んでいない。今後、この移行をハード、ソフト両面で促進させることが、生産性向上の重要課題である。

【ハード面でのキーテクノロジー】

オンデマンド生産では、要求品種や要求量が大きく変動する。流体を扱う産業では、これまでバッチ式の設備を用いることによりこのような変動に対処してきたが、1回の生産量には下限があり、少量の生産要求に対しては過大な生産を余儀なくされる状況にある。1バッチの処理量を大きく変更できるバッチ装置や、速やかに立ち上げ、停止ができる連続設備の開発が必要である。加工組み立て産業において様々な製品をオンデマンドで生産するためには、多機能設備からなる生産ラインを構築することが望ましいが、多機能化を進めるほど各設備の単位機能の利用頻度は低くなる。各加工・組み立て機能をモジュール化し、それらの結合関係を製品にあわせて変えられるようなリコンフィギュアブル生産ラインとすることで、効率的な設備構築が可能となる。

医農薬等で品質劣化（活性低下）の早い製品については、オンサイトでオンデマンド生産することにより、ロスのない高品質生産が期待できる。場所をとらずかつ家電製品のように扱えるマイクロ化学プラントは、そのような設備となる可能性を有している。実用化を促進するためには、製造に関する専門知識を有する運転員がいなくても品質を保証できるモニタリングおよび生産管理システムの構築や、危険物の取り扱いに対する法律面での検討も必要である。

【ソフト面でのキーテクノロジー】

顧客のニーズに合わせた製品をオンデマンドで生産するためには、要求品質にあわせて迅速に製造方法を定めなければならない。このためには、品質と製造方法を対応させるデータベースの整備が不可欠である。そして、それらの情報をもとにこれまでにない要求品質に対する製造方法を提示できるシステムを開発する必要がある。さらに、今後は定性的な顧客の要求品質から定量的な製造条件を導出することが、少ない試作回数で要求を満たす製品を生産する鍵となり、そのためのモデル構築手法の開発が重要となる。

消費財のインターネットを用いた販売が加速している。消費者のニーズの更なる多様化を想定すると、既製品のみならず消費者が自由に設計した製品のネット販売へと拡大する可能性が高い。そのような状況に対応できる受注管理、生産情報管理システムを構築していく必要がある。

（長谷部　伸治）

④その他製造形態

上記③オンデマンド製造では、消費者が設計した製品の製造−・販売についてふれているが、消費者が製品の設計だけでなく、製造をも行うパーソナルファブリケーションの概念が提唱されている。現在、パーソナルコンピュータや各種ソフトウェア等の普及により個人が製品を設計することは比較的容易になっているが、製品を製造するための手段を消費者自身が所有することは困難である。製造、検査、分析等を消費者が自由に利用できる環境の構築は、消費者のニーズにあった製品製造を可能にするのみならず、新たな市場の創出やベンチャーの育成につながる可能性を有している。パーソナルファブリケーショ

ンは、そのような新たな製造形態のひとつとして、注目すべきであろう。

また、遠隔地間で設計支援・連携を行うための技術や、技術開発のための関連要素、例えば、技術者の継続的育成方法等を整備することも重要である。

（長谷部　伸治）

⑤グローバル化、価値付加、市場創成

【製造を取り巻く背景と新たな課題】

製造は原材料から素材・部材を経て部品をつくり製品を生産する活動であり、最近では、その範疇は、使用段階の保守やサービスはもちろんのこと、それらの後に控えるリサイクルなどをも含めたライフサイクルについての取扱いにまで広がってきている。その各工程は様々な科学技術によって支えられていて、各段階を革新する固有技術や実装技術などは新たな製品の創出に向けた鍵であったし、今後もその因果関係は継続するものである。しかしながら、製造を取り巻く環境は、21 世紀に入って以降、それ以上に大きく変貌してきている。例えば、社会や生活の成熟のもと、単に新たな機能を持つだけの製品では市場に受け入れられることが難しくなり、使いやすさや感性を訴えたり新たな価値を製品に付加したりすることが本質的に不可欠となってきている。また、そうした付加価値をもつ製品を通じて社会や生活の有り様に変革をもたらしたり、また、顧客ニーズの多様性に広く対応しつつ様々な製品を柔軟に提供できるようにしたりすることによって、新たな市場を創成することが今後の製造業への要請となってきている。さらに、先進工業国の拡大や情報通信技術の進展は、いわゆるグローバルゼーションをもたらし、多様ながらも従来にはみられなかった規模で一体となった巨大市場をつくりだしたのみならず、製造業における競争を激化させており、我が国の製造業のポジションを相対的には低下させることになっている。このため、我が国がものづくりを通じてその豊かさを持続的に追求していくためには、今後の製造業にはそのような巨大市場と複雑で厳しい産業競争に対応できる能力が求められており、製造分野の科学技術にはそれらの方面への拡大が要請されている。

【求められる技術の特質と対象範囲】

上記の背景のもと、今後のものづくりとそれを支える科学技術には、何らかの製品を形態としてつくり出す上で基盤となる技術のみならず、そもそも、どのような製品を創り出すべきか、また、なぜ、そのような製品を敢えて創り出すのかなどをも問いかけながら、新しいコンセプトに立脚した斬新な製品をつくり出し、それらをグローバルな場で展開するための考え方や技術が必要となっている。

それらの内容は、狭義の製造段階のみに関わるものではなく、どのような市場や顧客を対象にするかについてのマーケティングから、然るべき製品をつくり出す上で必要となる固有技術や実装技術を導出するための基礎的な研究課題の立案や計画、それらとも連動した具体的な製品あるいは製品群の企画や概念設計、一連の内容のもとで製品(群)の具体的な内容を定めるための製品開発や製品設計、製品(群)を具体化するために必要となる様々な資源をグローバルな可能性の中から適切に確保するための調達、多種多様で変貌し得る製品要求に柔軟かつ迅速に対応できる製造のしくみ、また、品質保証や検査、保守やサービス、廃棄・回収・再利用などのライフサイクルに関わる内容の計画や事前評価までに至るものづくりの全貌、さらには、それらを統合的に展開するためのバリューチェーン、組織のありかたや国際的な分散協調処理の展開方法、機能という視点ではなく価値という視点から俯瞰的に製品を計画したり評価したりするための技術、製品(群)の全体像を広義のシステムとして設計したり評価したりするための技術などにまで広がっている。

【実現に向けた課題と期待されるべき効果】

本項目のもとで例示される技術課題の各内容は、おおむね、大局的な視点に基づいてより高次の最適性を目指すためのものであり、また、物理的な現象やメカニズムに立脚した再現性や普遍性を規範とするものに留まらず、事前には全貌が明らかにはなっていない悪構造問題に対して何らかの筋道を見出して優れた具体的かつ実現可能な解を導き出すための考え方や方法論としての形をとるものである。さらに、旧来からの製造技術と対比した場合、分析的な認識科学としてのものではなく総合的な設計科学としてのものになったり、知識そのものに留まらず、知識を産みだしたり管理したりするためのしくみにまで広がったりするなどの点で、根本的に異なる性質を伴うものとなる。このため、それらの科学技術の確立とそれに向けた研究や開発の推進には、そもそもの研究やその成果についての評価のあり方、社会への還元のためのメカニズムなど、前提となる各種の条件そのものをも問い直して、取り組んでいく必要がある。

一方、我が国の製造業は、昨今、上述した背景の影響もあって、短期的な不況や低迷に限らず、最先端分野における従来からの先進諸国との競争、多品種をも含めた大量生産分野における中国やインドなどの新興国との新たな競争あるいは協調の必要性など、様々な困難に直面している。その地位を確固たるところにまで回復させ、さらに、将来における飛躍を展望するためには、狭義の製造に関わる技術と以上に示した俯瞰的な視点からの新しい製造のための考え方や科学技術の研究や開発をものづくりの両輪に据えて取り組んでいくことが求められている。

（藤田　喜久雄）

⑥エネルギー、資源、環境

【低環境負荷、資源循環型ものづくり】

ものづくり、製造のバリューチェーンにおいては、環境負荷の低減や資源のリサイクルがますます求められるようになる。生産のチェーン「部品・材料調達⇒設計・生産⇒顧客での利用⇒廃棄」と再利用のチェーン「廃棄物資源の回収、製造過程での資源・熱の回収⇒選別⇒再資源化⇒部品・材料製造」が一体となった循環型（ものづくり再生型）製造システムが開発・実用化され、環境負荷低減や資源再利用に貢献する。例えば、廃棄時の再生・再利用を考慮した太陽電池システム等が現実となる。また、自然や生物の機構に学んだ、安全かつクリーンで、エネルギー効率が良く、コストパフォーマンスの高い製品・材料製造技術やシステム技術も開発される。直接還元などの新しい製造システムの構築による低環境負荷精錬技術も実用化される。

【新たなマイクロエネルギーシステム】

ポスト・ナノとしてのアトミック・テクノロジー技術の創成で新たなマイクロエネルギーシステムが実用化される。ITER などの大型の熱核融合炉に比べて制御性の良いナノ・マイクロサイズの高温・高密度プラズマの生成によるマイクロ核融合が実現され，マイクロマシニング技術で集積化することで太陽電池や燃料電池エネルギーなどにとって代わるエネルギーシステムが造り出される。本システムは、エネルギー面での社会的波及効果が大きい。

【新たな環境負荷評価指標と計測技術】

CO_2 に代わる、エネルギー・資源消費、製造過程（工場）や製品の環境負荷についての統合的かつ客観的な評価指標とその指標の計測技術が開発され、多面的な環境負荷低減対策が打たれるようになる。

（大平　竜也）

⑦理工系離れ、人材問題、少子高齢化

少子高齢化とは、出生率の低下により子供の数が減ると同時に、平均寿命の伸びが原因で、人口全体に占める子供の割合が減り、65 歳以上の高齢者の割合が高まることを指す。厚生労働省より発表された一人の女性が一生の間に産む子供の数(合計特殊出生率)は、2007 年で 1.34 であり、2006 年から 0.02 ポイントの増加を示している。しかし、全体の人口減少により出産適齢期の女性の総数は減っており、2007 年において約 109 万人であり、これは今後も上昇に転じる見通しはない。

少子高齢化が経済に及ぼす影響としては、生産能力人口(15 歳から 64 歳)の減少すなわち、労働力の減少が直接的に経済成長の低下をもたらすことがあげられる。一方、国内の市場は、高齢者増加に伴い、介護、医療などの需要が増加する傾向になる。高齢者社会は日本だけでなく、先進国にみられる傾向であるが、先進国でない海外を含めた場合、より地域によって異なる需要となることが予想される。一方で、若者の人口減によるその年代に対する需要減が生じる。特に、少子化により教育関連、産婦人科、小児科など子供を対象する産業の規模が縮小される。また、公的年金制度を考えた場合、老後世代をその時々の現役世代が支える必要があるため、現役世代の負担が増加し、結果として消費力の低下が生じる。

少子高齢化とはことなるが、日本における理工系離れ、という問題がある。OECD による生徒の学習達成度の調査によると、日本は、2000 年の調査においては数学で1位、科学で2位であったが、2003 年の調査では 6 位と 1 位、2006 年調査では 10 位と 5 位というように低下傾向が見られる。同じく OECD による、科学に対する全般的な関心・興味の調査があるが、OECD の平均よりも多くの項目で低い。また、科学を楽しいと感じるかの調査においては、すべての項目で平均よりも低い値を示している。

文部科学省の 2002 年度の報告では、研究者、技術者の人数は、270 万人から 2040 年では 200 万人を切ると予想され、その比率も、2002 年の約 2.15%から 1.4%まで減少すると予想している。

理工系離れが我が国の経済に及ぼす影響として、日本の経済発展を牽引してきた製造業などの人材不足があげられる。前述の人口全体が減少しているなかで、さらに理工系の技術者が減少していることになる。特に、自然資源の少ない日本においては技術力こそが日本経済の原動力であるが、この原動力が低下することになる。理工系離れの原因としてさまざまな項目があげられているが、もっとも多い意見としては理工系出身の生涯賃金が、文系のそれと比べて少ない、という指摘がある。また、医学系離れが起きていないことから、賃金の問題とともに、社会貢献の明確さをあげるものもある。

(藤田　雅博)

⑧安心・安全

安心・安全は製造・インフラを検討する上で、格段に重要性を増してきている。工場などの製造過程が環境に及ぼす影響はもちろんのこと、製造された製品の安全性、廃棄されたときの環境への影響に対する利用者の関心は、今後、増すことはあっても、減ずることはないと断言できる。さらに、製造で利用されるエネルギーの由来についても同様の関心の深まりが予想される。これを受け、安心・安全を強化する科学技術への要請はますます高まると想定される。

消費行動に対して大きな変化を及ぼす要因として、従来は製品の持つ機能やサービスが主なものであった。しかし、今後は、安心・安全への配慮が製品の価値や消費行動へ大きく影響を与え、新たな流れを生み出して行くことも十分想定される。例えば、インターネットの利用の急速な拡大は大きな市場と産業構造の変化を引き起こしているが、社会的弱者である子供や高齢者に対して十分な配慮がなされていると

は言い難い。これらの分野に対する新たな科学技術への社会的要請は強い。

一方で、旧来の産業技術に立脚した法体系が陳腐化し、新たな価値創造への足枷となる危険性も指摘されている。安全性が確立された技術、例えば化粧品や薬品について、製造方法の認可条件を緩和するなど、時代に即した法体系の確立は科学技術を支えるインフラ整備として重要な項目である。また、ロボット技術は、今後の発展が期待される分野の一つで、工場へのロボットの導入は今後も着実な歩みを見せると予想される。しかし、高齢者や障害者支援等のロボットの民生利用技術は、多くの期待を集めながら技術的課題はもちろん、法体系の未整備などの課題に直面している。これらを乗り越える技術およびインフラへの期待は大きい。

モノづくりからコトづくりと云われるように、ハード技術からソフト技術へと、産業競争の領域に変化が見られる。また、情報技術は既に重要な社会基盤であり、これを動かすソフトウェアは国民生活の安心・安全の礎である。しかし、効率的なソフトウェア開発技術とその信頼性を評価・検証する技術は未だ十分とは言い難い。ここ数十年、計算機のハード技術について飛躍的な発展が見られたことは周知の事実であるが、ソフトウェア開発の現状は旧態然とした状況にある。今後は、ソフト技術の高度化のための研究開発が、安心・安全の観点からも強く求められている。

（松木　則夫）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
少品種大量生産	1	大重量構造物の従来の溶融接合に替わる液相もしくは固相拡散接合等による低変形・低歪み接合技術
	2	自然や生物の機構に学んだ、安全かつクリーンで、エネルギー効率が良く、コストパフォーマンスの高い製品・材料製造技術やシステム技術
	3	製造された工業製品の部品ひとつひとつにその履歴（製造者、材料、部品、性能・特性変化、使用者等）を識別できるICチップを埋め込んだ、工業製品の障害追跡システム
	4	産業毎に異なるバリューチェーン（例：市場・顧客調査⇒開発・設計⇒調達⇒製造⇒販売⇒サービス）でどこに価値を付加すれば、その産業振興と雇用創出が最大になるかを評価する技術
	5	ある製品（サービス）の顧客地域に対し、部材部品をどこで調達し、その製品（サービス）をどこで製造するのが、Q（品質向上）C（コスト低減）D（納期短縮）を最適化できるかを一般評価できるサプライチェーンマネジメント技術
	6	脳波を検知することで、人間の考えていることをコンピュータ上に表現できる設計・開発サポート技術
	7	安全・効率的・安価な老朽化したインフラの点検と補修工事，地球温暖化に伴って増加しつつある自然災害の被害を受けた危険箇所の補修工事，自然・人為災害の人的被害を最小化するための災害軽減化・災害対応，などの屋外作業の遠隔化・半自律化・自動化のために，インテリジェントシステム・ロボットに対するニーズが高い．以上を技術的に実現するための，センサや工事機材を目的箇所まで運搬できるための移動技術
	8	人間・ロボット・機械が仕事場所を共有して仕事ができるための，安全・安心技術，および，それを可能にするための社会的受容・制度・システム
	9	人間が求めているサービスを解析し，適切なアドバイスやガイダンスを与えるための認識技術
	10	機器の超小型化を可能にするための，放熱技術・省エネルギー技術・アクチュエータ技術
	11	長時間にわたる自立作業を可能にするためのバッテリー技術，省エネルギー技術

区分	番号	科学技術課題
	12	生物と同等の運動や物理的作業の機能，環境適応性を実現するための柔軟機械技術
変種変量生産	13	屋内で地図と連動したインテリジェントサービスを実現するためのインフラ設営が不要な測位技術
	14	科学技術研究と実用技術との間を埋めるための技術
	15	単なるものづくりから脱却し，価値の創生を重視する事への転換
	16	ITER などの大型の熱核融合炉に比べて制御性の良いナノ・マイクロサイズの高温・高密度プラズマの生成によるマイクロ核融合が実現され，マイクロマシニング技術で集積化することで太陽電池や燃料電池エネルギーなどにとって代わるエネルギーが造り出される（マイクロエネルギーシステム）
	17	現在の半導体デバイス（フラッシュメモリ）の概念を超えた超大容量メモリデバイス（原子メモリ、分子メモリ、自己組織化メモリ）を可能にする新技術（超大容量デバイス化）
	18	シリコンの物性限界を超えた、GaN や SiC と言ったパワーエレクトロニクスが実用化され，個別のデバイス（ディスクリートデバイス）の域を超えた高集積化素子としてのアドバンテージを有した極限環境集積化エレクトロニクスが創成される（極限集積化エレクトロニクス）
	19	レーザ光などの電磁波を照射し，光電場とプラズモン（金属中の自由電子が集団的に振動しているもの）を共鳴させて光吸収を生じさせることで，光エネルギーがプラズモンに変換されることで光エネルギーが蓄積されることを利用し，ナノ金属粒子を必要な形状に成型してレーザ光を照射するとことで粒子間の間隙にレーザ光が伝送され、吸収された光エネルギーによって接合界面のみの加熱で接合できるようになる（界面局部加熱による新接合手法）
	20	環境配慮、省資源・省エネルギーのために用途に応じた異種金属や金属−プラスティックスなどの組み合わせの複層材が広く利用され，テーラーメードの複層材を即納で安価に製造できる技術とその接合技術が開発される （異種材料接合技術）
	21	直接還元などの新しい製造システムの構築による低環境負荷精錬技術の実用化（低環境負荷精錬）
	22	超微細制御技術の実用化により，スパン 4000 メートルを超える長大橋や深海海洋開発のような大型・特殊環境下構造物の低環境負荷製造が可能となる超高強度・高耐食材料の開発
	23	機能発現原子の制御を目的とした原子レベルでのものづくり技術による異種原子ならなる新しい原子ワイヤや原子クラスターなどの創成による量子伝導体や機能触媒などの実現（1原子制御技術，2元原子ワイヤ，多元原子クラスター）
	24	材料の機能を決定するフロントアトムを制御することにより量子効果の最大化や新しい量子機能の探求を通じて量子計算科学から機能が決定されたナノマシン生成技術の確立が実現される（フロント原子置換制御技術）
	25	物理・化学・生物・工学の融合，無機・有機・高分子の融合，物質と生体の融合などの多次元学際融合によって，原子制御によるポストナノテクノロジーの構築（ナノテクノロジーを超える）
	26	設計生産から廃棄循環に至るライフサイクルやグローバルなサプライチェーン全般に渡る全体最適や多様な顧客ニーズに柔軟に対応できる製品系列を俯瞰した最適性を実現するためのシステム的な視点に基づいたアーキテクチャデザインをも対象とする統合的な設計方法論
オンデマンド製造	27	物理的な意味での新たな機能を実現することを超えて，新たな価値やサービスを生み出すための製品アーキテクチャや製造システムについてのシナリオやそれを具合化するための設計方法論
	28	様々な設計方法論における枠組みやシナリオに対応しながらその具体化の過程を支援できる数理的なモデリングの枠組みをそれに呼応する最適化計算アルゴリズム．これについては，システムレベルの最適設計に軸足を置くこと，大規模で複雑な組合せ的要素を含むシステムについての設計を最適化できる実践的な枠組みを目指すことなどが重要であると考えられる

区分	番号	科学技術課題
	29	より高い顧客ニーズの充足に向けて，意匠やエルゴノミックス，感性などの面についての設計（デザイン）を合理的に進めるためのモデリング技術や設計方法論．この方面については，旧来は芸術的見地からの経験的なものが主だっていたが，今後は，科学的な見地からのより合理的で普遍的な枠組みが求められる
	30	企画や概念設計などの設計対象の内容が具体的には詳細化されていない段階にあっても，対象となるシステムがどのような振舞いや機能を実現・達成し得るかを粗くしかし的確に予測するためのシミュレーション技術．十分な情報のもとで厳格で定量的な結果を導出するのではなく，曖昧な情報のもとでも要点を押さえた有用な結果を定性的に導出するための技術．例えば，いわゆる FOA (First Order Analysis) 関連技術はこの方面を意図した典型的な動向であり，また，ライフサイクル関連での設計技術もそのようなものの先駆的具体例として位置付けることもできる
	31	高次元でメカ・エレキ・情報を統合した新しい意味でのメカトロニクス製品の設計を合理的かつ迅速に行うための設計支援技術．そのような統合的に複雑化するシステムの設計を迅速かつ簡便に進めるための標準的な基盤としての共通アーキテクチャや標準モジュールなどの設計をそれらの基盤のもとでカスタマイゼーションにより多様な製品を展開するための各種設計技術
	32	製品や装置の超長期に渡る使用（循環型のものを含む）を実現するための初期設計情報や信頼性やメンテナンスなどの履歴に係わる情報を統合的かつ長期に渡って継続的に記録・保存するための技術とそれらの情報の存在を前提として超長期使用をより合理的に行うための技術
	33	装置産業を対象に，多品種のオンデマンドな生産要求に対して，在庫を持たず，迅速かつフレキシブルに対応できる連続生産システムの構築．たとえば，多品種生産マイクロ化学プラント技術
	34	活性の低下が早い薬品，化粧品，中間活性材料などを，オンサイトで生産するマイクロ化学プロセスの構築（法規制の緩和対策も含む）
	35	消費者が自分の好みに合わせて製品を設計し，その情報をもとに迅速に生産に結びつけ供給するための，レシピ情報の IT 化を含むシステム化技術
その他製造形態	36	従来のシステム工学が対象としていた範疇の問題を超え，そのような対象がより広い範囲で何らかの階層関係や相互依存関係を伴いながら連成している高次システム，言わば，System of Systems に対する次世代のシステム工学
	37	新規な設計を導き出す際に活用されたり創造された設計知識を明示的に記録したり管理したりし，さらに，参照・再利用するための知識管理型設計支援システム
	38	グローバルな遠隔地間で連携して展開される総合的な設計活動を支援するための技術．さらに，そのような連携技術あるいはそれらを活用して進められる設計活動においてのもとでも，コアとなる技術についての知財を守りながらも，必要な連携活動を円滑に行うための情報システム
	39	先進国に準じる水準の市場を含む世界規模の巨大市場の存在や発展途上国で求められる超低価格製品の創出など，日本市場の特性からは根本的に異なる製品を国内の設計生産拠点と国外(現地)での拠点との協調的な連携のもとでつくり出していくための考え方や方法論
	40	複雑化するグローバルな製造の問題に対して，グローバルに分布する多様な人的資源を選択的に活用し連係させることにより，従来にはなかった水準での設計生産を実現するための組織論および設計プロセス構成論
	41	従来の設計が主に対象としていた段階よりもより上流の設計を的確に展開することができる技術者を育成したりその能力を継続的に発展させたりしていくための教育コンテンツと教育方法
	42	パーソナルファブリケーション（欲しい仕様のモノを自ら製造・利用あるいはグループシェア）のための、個人用小型加工システム（パーソナルファブリケーター）
グローバル化、価値付加、市場創成	43	コンテンツ（映画、音楽、書物、マンガ）を生成できる人材創出
	44	よりよい顧客体験を与えるインタフェース“製造”技術
	45	子供、高齢者が安全に暮らせるネットワークインフラ技術

区分	番号	科学技術課題
	46	DNA の二重らせん構造を利用した接着技術
	47	磁場・電場・重力などの外部環境を複数組み合わせて制御することにより、微細対象をマニピュレートして組み立てる技術
	48	10 年以上の長期にわたり、生体適合性を維持できる皮膜加工形成技
	49	製造設備の廃棄時に、原子、分子レベルまで、構成要素を分解する技術
	50	外部環境の単純な制御により、ナノ粒子を操作してデバイスを製造する技術
	51	液相中、気相中における 10nm 以下のナノ粒子の形状、計数技術
	52	ナノ粒子の存在する環境下における滞在による吸入量・皮膚への付着量を想定するためのナノ粒子の累積暴露量の計数技術
	53	メートルオーダーの距離を隔てた自立移動型マイクロロボットに、移動に必要なエネルギーを非接触で伝送する技術
	54	CO_2 に代わる、エネルギー・資源消費，製造過程（工場）や製品の環境負荷についての統合的かつ客観的な評価指標と，その指標の計測技術
	55	組み込みソフト開発に利用可能な、個人の能力に過度に依存しない信頼性の高い巨大ソフトウェアの設計・開発・評価・メンテナンス手法
	56	設計・製造の各工程における事前評価に利用可能な，製造関連知識、実験データ、製品事例および公知の事実と企業ノウハウを常に最新状態に維持可能な情報インフラ技術
	57	オンサイトでの製造時に原材料から製造工程までの品質をトータルでモニタリング、フィードバック調整して最終品質を保証するための、簡易生産管理品証技術
	58	オンサイト製造時に蓄積される顧客製造情報の2次利用（マーケッティングとカスタムサービス）と個人情報保護のための、IT による顧客情報サービスおよび情報保護技術
	59	サプライチェーン管理，生産計画，スケジューリングにおいて，対象の状況に応じてシステム自身が自己の改良を行い，フレキシブルに状況変化に対応できる，自己修正メカニズムを有する生産管理システム
	60	分子の挙動から巨視的な反応・流れまでを統合したマルチレベルシミュレーション技術
エネルギー、資源、環境	61	パーソナルファブリケーターで作った製造品のバーチャル売買市場（IT オークション等）の形成を可能とするための、データグローブ等による製造品の遠隔五感モニター技術
	62	3 次元イメージをもとに 10 分以内に試作金型を製造し、試成形を行う RPM（Rapid Product Manufacturing）技術
	63	設計情報をもとに、材料から製品に至る状態を再現し、製品の特性（強度、信頼性、廃棄）、製造手段（環境調和性、生産性、保守）等全てを評価する技術（ヴァーチャルマニュファクチャリング／デジタルモックアップ）
	64	現時点で効率的な処理法，利用法が開発されていない一般廃棄物を，将来利用可能な形態で安全・安価に貯蔵するシステムの構築
	65	エクセルギー的にみて使いにくい低品位熱エネルギーを効率よく高エクセルギー状態に転換する技術
	66	間欠的に生じる未利用熱エネルギーを効率よく利用する技術
	67	廃棄時の再生・再利用を考慮した太陽電池システム
理工系離れ、人材問題、少子高齢化	68	多様な製品・変動する生産量に対応できる、再構成可能な製造システムの 50%以上の工場への普及
	69	「資源投入→設計・生産→使用→廃棄」と「回収（サーマル／マテリアル）→選別→再資源化」が一体となった循環型（ものづくりもの再生型）製造システム
	70	加工精度が1μm 以下のネットシェイプ成形（鋳造、焼結、塑性）加工技術
	71	高齢者や女性の特性に配慮してその労働をサポートする，支援ロボット技術等を含むインテリジェント生産システム
安心・安全	72	構造材料（鉄鋼、Cu 合金、Al 合金、Mg 合金、Ti 合金）の 95%以上を包含した、強度・疲労寿命、塑性流動応力、Texture／異方性、材料組織変化等の成形加工データベース:

区分	番号	科学技術課題
	73	1000℃で 107 回の利用に耐える超寿命、低摩擦（摩擦係数 0.05）金型コーティングと超寿命金型材料の量産化と普及
	74	オイルレス、洗浄レス、スクラップレス、ノイズレス（4 レス）マニュファクチャリングの普及
	75	電磁波・中性子線による製品内部構造の非接触測定による品質保証、および鋳造・成形加工中状態変化その場測定のための工場内設備
	76	反応器の中の状態や将来のプラントの状態など，見えないものを見えるようにしたバーチャル運転支援システム

第11節　No.11 分科会：科学技術の進歩によりマネジメント強化すべき対象全般

1．検討範囲

No.11 分科会で設定された検討範囲は、以下の通りである。

①小さな現象から将来を洞察する（Global insight から Global forecast）、ビジョン形成手法
②国際競争力低下を防止するためのマネジメント（国際的マネジメント）、外国人と対等に戦える人材育成、異文化の共働マネジメント
③サービスマネジメント、教育研究分野のマネジメント、マネジメントにおける環境経営、政府機関のマネジメント
④社会イノベーション、ネットワーク創発、創発誘発する仕組み
⑤人間のマネジメント（格差縮小社会）、ダイバーシティー、人間系のナレッジ、教育、標準化による教育質維持、直感力を鍛える
⑥ガバナンス・ストラクチャー、アセスメント
⑦マネジメント強化（ルーシング・ライトの視点、知的財産、技術価値評価、金融工学、経済物理、思考停止にならないマネジメント）
⑧工学的手法によるマネジメントに対する過信の問題、データフローストックのマネジメント（データベース）、知の構造化（知識を関連して保存）

2．要点

科学技術とマネジメントは、産業立国の両輪であり、その意味ではこれら二者の役割は補完的と考えられる。ここでは、科学技術がいかにマネジメントに資するかという視点から、科学技術の将来予測を考える。

一概にマネジメントと言っても、在庫管理や生産管理などの業務・オペレーションのレベルのマネジメントから、設備投資や新製品開発の意志決定などの企業の戦略レベルのマネジメントまで幅広いスペクトラムがある。科学技術のマネジメントへの貢献は、マネジメントのレベルによって、そのあり方が大きく変わるであろうことは異論を待たない。歴史的にいえば、科学的手法のマネジメントへの適用は、インダストリアル・エンジニアリングの名のもとで、業務・オペレーションのレベルのマネジメントから始まった。このような業務の改善は、業界でほぼ横並びになされると、特定の企業だけが業績改善の恩恵に浴するということはない。例えば、物流管理の効率化により物流コストの対 GDP 比は下がっているという報告があり、これは国の経済力に資するところが大きい。しかし、この物流サービスの効率化は、サービスを受ける企業に対して一様に起こっているので、特定の企業に戦略的優位性を与えるようなものではなく、マネジメントの問題としての重要性は認識されることはあまりないであろう。一方、戦略レベルのマネジメントは、個々の企業に大きな影響を与える。ただし、このレベルのマネジメントは、単純に科学技術を適用できるような性質のものではなく、経験則などアートの側面が強くなる。また、競争環境にさらされている企業にとって自社の戦略の有効性は、競合企業の戦略と関連しており、その分析はより複雑となっている。

本分科会では、広範な課題を検討するが、これを8分野に分けた。検討分野1では、社会や消費者の意見や考えを全体として把握・洞察する技術を扱った。検討分野2では、国際化とマネジメントに焦点を当てた。日本の企業社会の国際化は、日本企業の海外進出と外国企業の日本進出の両面で、これから

も進むであろう。日本人が国際的な環境で仕事をしなければならない状況は、急激に増えつづけている。そのような環境で外国人と対等に渡り合える人材を育成することは、教育界の喫緊の責務といえる。また、国際化した職場は多様化した労働力を擁することになり、我が国にとってはこのような人材マネジメントは新たな課題となる。検討分野3では、サービス業におけるマネジメントを取り上げる。サービス分野での生産性向上は、我国の課題と言われ続けており、古くて新しい問題と言える。検討分野4は、比較的新しい研究領域であるネットワークダイナミクスとネットワーク創発を扱う。この研究領域がマネジメントに将来的にどのような貢献をするか興味深い。検討分野5では、教育や格差社会など、人を中心とした問題に焦点を当てる。検討分野6のガバナンスの問題もまた、古くて新しい問題と言える。マネジメントの問題としては、スペクトラムの端に位置するもので、重要ではあるが、いわゆる科学技術が適用しにくい分野ともいえる。検討分野7は、知的財産権管理法や金融工学など、直接的にマネジメントに貢献する科学的手法に焦点を当てる。知的財産権がどの程度強化されるべきか、社会的に大きな問題と考えられている。知的財産権が弱すぎれば、研究開発に対するインセンティブを弱めるであろうし、強すぎれば、有用な技術の有効利用が妨げられるかもしれない。サブプライムローンに発する景気後退はあるが、我が国においては、金融工学は、今後より一般に使われる手法として広く普及していくであろう。最後の検討分野8はデータベースや知識ベースを扱う。過去数十年間データベース関連技術の発達は著しかった。一方、知識ベースの実用的な実装には至っているようには見えない。しかし、一旦実用的な知識ベースが開発されれば、その影響には、マネジメントだけにはとどまらず人々の社会生活全般へ及び計り知れないものがあるだろう。

（増田　靖）

3．各区分の概要

①小さな現象から将来を洞察する、ビジョン形成手法

社会や消費者の意見・考えの分布を全体として把握・洞察すること、さらに将来の動向を予測することは、政策決定に関わる人や、企業で商品開発やマーケティングに携わる人にとってきわめて重要なことである。このような問題に適用できる科学技術として、ミクロの視点からは、個々人の心理や感情を分析するという方法として脳科学や認知科学が挙げられる。また、個人の嗜好や意識が経済に与える影響を理論だけではなく実験的に検証する研究分野として、実験経済学もミクロよりの視点と位置づけられる。マクロ的に把握する手法としては、さまざまな統計手法があるが、近年研究が著しいものとして、データの可視化が挙げられる。表では表現しにくいものを地図情報またはネットワークの形で提供する技術であり、データをマクロ的に把握する方法として有効である。

（技術的重要性）

上記概要でいくつかの技術分野を挙げたが、本分野は主に社会のニーズを示したものである。さまざまな科学技術を、問題把握などの組織の問題に応用するための手法の確立が望まれる。

（社会的重要性）

社会や消費者や組織の動向を予測するためには、まずそれらが総体としてどのような意見を持っているかを把握する必要がある。社会的な方向性が見えにくくなっている状況、人の嗜好の変化が激しい状況で、人々が現状をどのように把握しているか、またどのような意識を持っているかを知ることは、マネジメントの問題としてより重要になっている。

（増田　靖）

②国際競争力低下を防止するためのマネジメント、外国人と対等に戦える人材育成、異文化の共働マネジメント

社会経済のグローバル化の進展の中で、我が国の国際競争力の低下が大きな問題意識となり、早急な対応が求められているが、各国それぞれが異なる言語、歴史、文化、地理的条件などを有しており、一朝一夕に解決できる課題ではない。長期的視点に立ち着実な対応が求められている。特に、英語教育、企業活動の国際化、国境を超えた人材移動あるいは法制度の国際化などの領域における取り組みが不可欠である。本領域は、国際競争力低下を防止するための語学教育、外国人と対等に仕事ができる国際人材育成、異文化との協働等の国際的マネジメントを中心とする研究領域である。

（研究の重要性）

初等教育における英語教育の充実を図るための留学制度、インターナショナルスクールの誘致、現実のビジネスの現場で使用される言語の英語化、国境を超えた企業間アライアンスの構築、高度専門家人材の国境を越えての移動、外国人労働者による管理職、専門職など、グローバル化を反映した教育、企業活動、雇用形態などが現実化してくる。さらに、国益観念にとどまらない国境を超えた地域の繁栄と平和への意識の高まり、異文化を踏まえた国際マネジメントの進展、各国法制度の国際的統一または調和が進んでくると考えられ将来の研究分野として極めて重要な領域となる。

（技術と国際的マネジメントの関係）

国際競争力の産業側面では技術開発力が大きな位置を占める。しかしながら、技術は開発されても、これをマネジメントする力がなければ技術開発の成果は実を結ばない。創出された技術をいかに活用するかというマネジメントが欠かせないことは言うまでもない。このマネジメントの在り方にグローバル化という大きな波が押し寄せてきており、従来のマネジメントの在り方でなく国際化を前提としたマネジメントが将来の国際競争力を大きく左右する。国際コミュニケーション力を高めていくために必要なマネジメント、歴史、文化、言語、法制度、価値観の異なる外国人労働者のマネジメント、海外製造拠点での人材マネジメント、海外市場のマネジメント、国際的な人材ネットワークマネジメントなど、技術の活用と国際的マネジメントを融合させていくことが避けて通れない領域になっていく。

（田中　義敏）

③サービスマネジメント、教育研究分野のマネジメント、マネジメントにおける環境経営、政府機関のマネジメント

先進国においてGDPに占めるサービス分野の比率は70～80%を占めるようになり、この分野での付加価値の創出が経済成長力の主要な源泉となる。そのため知識の価値を高めることの重要性が増し、知識創造は「人」に依存するため教育分野での効率性・競争力を高めることが課題となり、そのマネジメントが注目されることになる。一方、国家運営、産業政策において地球資源の有限性を意識した取り組みが人類共存のために益々重要となり、企業においては環境に配慮した経営が進化する。また、デジタル化、グローバル化の進展により地球規模で労働力コストの差が縮小し、頭脳労働力もグローバルな視点での採用が進む。このため、政府機関のマネジメントの優劣と効率性が国家競争力の主要要因となり、その一分野である産学官連携が引き続き進展する。

（技術的重要性）

付加価値の源泉がサービスにシフトする社会において、ユーザの要求把握が重要となるが、単に顧客の声を聞くだけの手法では困難である。ユーザの潜在的要求を掘り出すことが必要でそのためには研究開発フェーズに顧客参加を求める等の手法の開発を進めることになるだろう。文理融合の学問的アプローチが必要となり、ハード・ソフト・サービスが一体となった製品開発においてビジョンの提示とそれを実現するインテグレーション技術が求められる。

（社会的重要性）

新規な付加価値の源泉を提供するにはイノベーションを実現していくしかないが、その中でも非連続的なイノベーションが経済的に豊かな社会の実現にとって特に重要である。これを実現するのは「人」の知識創造的行為である。そのため教育分野の国際競争が激化し、効果的教育に関する技術開発、マネジメント手法が発達する。そして研究・技術開発とそのマネジメントの相乗効果を発揮させることがイノベーション創出の視点で社会的重要性が増していく。技術マネジメント手法やツールの普及の重要性はその基盤として重要だが、更に注目を集めるのは、直観力、ビジョン形成力、洞察力といった能力の向上が競争力の源泉となることであり、そのため脳科学の成果のマネジメント手法への活用が進むと思われる。

（将来性）

20 世紀の科学技術の発達、特に電子情報技術の発達がもたらしたデジタル化とグローバル化の進展は 21 世紀に益々進展こそすれ逆方向には動かないであろう。これがもたらす意味は、地球規模で経済、人材が一体化する方向であり、一方でローカルな視点からはそこに存在する各国の競争力維持が個別視点で重要となるが、そうした時代ではマネジメント能力が成否を決めることにもなっていく。マネジメント力の向上は、それを支援する技術と、マネジメント人材のリーダーシップ力や意思決定力等に依存するため、文理融合による能力向上のアプローチが進展することになるであろう。この分野の重要性は高まっていくと思われる。

（井川　康夫）

④社会イノベーション、ネットワーク創発、創発誘発する仕組み

グローバルな競争激化ともに、少子・高齢化、医療格差、貧困問題、環境問題など様々な問題が噴出する混迷した社会において、そもそも何のための科学技術なのかという点が大きく問われている。「イノベーション」という言葉は、もはや狭い技術的な革新にとどまってはならず、喫緊の社会問題の解決、社会そのものの変革、社会における新たな価値の創出という意味に広げられるべきである。つまり、「イノベーション」は技術的な革新性のみならず、「新しい社会的価値を創造するために必要とされる新しい社会的商品やサービスやその仕組みの開発」の観点から広くとらえなおされる必要がある。しかしそのようなイノベーションを導く仕組み作りは、論文競争、新製品開発競争にさらされる科学技術者の狭い視野からではなく、社会問題に敏感なマインド、オープンな知的交流、ボトムアップ的集合知などを基盤に、多方面の緩いネットワーキングによってこそ可能になるものと思われる。ここでとりあげるのはそのようなネットワークづくりに関係する技術である。

（技術的重要性）

ソーシャル・イノベーションにむけたネットワーキングを評価、測定、予測する技術は、旧来の科学論文や科学予算レベルで行われる「サイエントメトリクス」に社会的な価値の評価軸を加えるという意味

をもち、ネットワーク科学や俯瞰工学に新たな次元を加える意味で技術的に高度である。

（社会的重要性）

ソーシャル・イノベーションにむけたネットワーキングを評価、測定、予測する技術は、そもそも極めて「社会的重要性」を有する。というのはこれ自身が、社会的重要性を意識し、新たな社会的価値を生み出すためのイノベーションの評価に関わっているからである。

（将来性）

欧米のビジネススクールでもソーシャル・イノベーションに関する研究は最先端となりつつある。それとともにソーシャル・イノベーションのネットワーキングを評価、測定、予測する技術はますます日本でも重要な技術として要求されるものと思われる。

（金光　淳）

⑤人間のマネジメント、ダイバーシティー、人間系のナレッジ、教育、標準化による教育質維持、直感力を鍛える

この分野では、技術とマネジメントという観点から、格差社会の縮小、人材の再教育、ノウハウなどの継承、高齢化のサポート、女性の社会進出、生産性の向上、創造性の向上という問題にいかに取り組むかに注目して科学技術課題を設定した。

（技術的重要性）

人間の意識や行動の測定は、これまでアンケートやカメラによる観察といった方法で行われてきた。脳科学的な測定が高い精度で可能となれば、より簡便に意識や行動を把握できることになる。このようなアプローチと、人間や企業の行動に焦点をあててきた心理学、経済学などの社会科学的知見を融合させることにより、上記のような問題に対応できるだけでなく、学術領域としても新しい分野を形成できると考えられる。

（社会的重要性）

ノウハウの継続支援、高齢者・身体障害者のサポートのためのシステムや機器については、高度な技術を新たに開発するというよりは、既存の技術を用いることによって解決できる可能性もある。しかし、ここで取り上げた高齢化、少子化などはいずれも社会的に重要な問題である。科学者、技術者は先端的な研究を重視しがちであるが、このような問題に対応するといった発想の転換も必要である。さらに、本分野では、ワークシェアリング、リカレント教育など科学技術というよりは、社会制度に関するものも課題として設定した。技術のみならず、社会制度における革新も重要である。

（将来性）

科学者、技術者は、科学的知見、技術的高度化を目指す傾向が強く、せっかく発見された知見や技術が活用されないという課題がある。ここで挙げたマネジメント課題は高齢化や女性の社会進出の促進、そして、創造的な企業や産業を育成し、企業や国の競争力を確保するという明確なニーズを前提としたものである。高齢化やノウハウの継承などの問題は、今後、他の国でも生じる可能性が高いが、我が国では先行してこれらの課題に直面しているともいえる。これらへの対応は我が国が直面する問題を解決するだけでなく、企業や国の競争力の源泉ともなり得る。さらに、科学・技術的なアプローチとあわせて、それを活用する社会制度の設計、実施のための技術も重要である。

（濱岡　豊）

⑥ガバナンス・ストラクチャー、アセスメント

本分類では、企業や組織が危機に陥るケースとして、地震・台風・洪水等の自然災害、SARS・鳥インフルエンザ等の感染症、そして食品偽装のように一部の経営者の行き過ぎた行為から発生するコーポレートガバナンス問題を取り上げ、これらの危機に陥らない、または陥った時の被害を最小限にするマネジメント強化課題を対象として取り上げた。

自然災害に関しては、都市化や工業化に伴う自然破壊や、温室効果ガスの排出量の増加などにより、かつて無い規模の災害が近年頻発している。この傾向はグローバルな経済の発展に伴い、更に悪化すると考えられる。また、台風や地震などの災害の発生の予測精度も科学技術の発展により近年向上している。さらに最近の通信機器の普及により、被害の現状や救助の状況を今まで以上に正確に把握するとも可能となっている。これらの情報を総合的に集約し、適正に対応策を検討実施するマネジメントの強化が必要となる。

また感染症については、ビジネスのグローバル化や交通の発達に伴い世界中を移動する人が多くなっており、この数は今後も増加すると予測されている。このため、世界のある特定の地域で発生した感染症が、数日から数週間で日本にも伝染し被害をもたらすことが考えられる。例えばアジアで鳥インフルエンザが人から人に感染するように変異した場合、一週間で日本に侵入、60 万人を超える死者が出るとの予測もある。この場合、電車やバスの公共交通機関が麻痺するだけでなく、ガス・電気・水道といったライフラインにも影響がでることが予想される。このような時には、被害を最小限に抑えて拡大を防止するスピードマネージメントが求められる。

次にコーポレートガバナンスに関しては、企業間の競争が今後も継続して激しくなると、利益を追及するあまり、行き過ぎた行為に走ることが懸念される。この場合の信用喪失は一企業の問題にとどまるだけでなく、時にはその国やグローバル経済へ影響を及ぼす。このようなガバナンスの問題発生を防ぐには、企業活動の透明性確保や内部統制のマネジメントを進める必要がある。

（山ノ井　利美）

⑦マネジメント強化

【知的財産】

特許については、従来の大量出願戦略からコアテクノロジーに基づく基本特許重視型戦略への転換により、国際競争力のある特許保有国家を指向すべきである。同時に、国内出願重視から国際出願への大規模な転換が進められ、国際特許取得による国際競争力の更なる向上を図ることも必要である。

また、イノベーションを推進するうえで、過度の知的財産権の所得が制限されるようになり、それに対応してイノベータによるリスクテイクの対価として、その他の法的補償制度が国際的に普及することも考えられる。

【経営管理・リスク管理】

特に上場会社においては、この会社が抱える事業リスク等を数量的に把握する手法を確立し、把握した事業リスク等を定期的に外部に公表する制度を構築すべきであろう。加えて、そのリスク等を事業ポートフォリオの構築等により効率的に低減させる試みもなされるべきである。

また、企業内を対象とした科学的モニタリング手法とインセンティブ制度の整備により、大幅な権限委譲と労働生産性を上昇させることも必要である。

さらには、通貨価値の変動や、エネルギーをはじめとする国際商品価格の変動によって生じるマーケット・リスクを軽減するために、このリスクをもたらす要因（リスク・ファクター）を事前に特定し、リスク量を管理（コントロール）する手法も確立すべきである。

【研究開発】

研究開発のプロジェクト・マネジメントにおいては、研究計画、実施、コントロール、評価、それぞれに対してデータに基づいた科学的方法を確立し、労働生産性からみた研究開発の効率性も追求するべきである。

【金融政策】

金融政策といった経済政策の精緻化によりインフレーション・デフレーションをコントロールし、景気の変動幅を減少させる方法も検討すべきである。

【意思決定】

重大な問題が発生した際、過去の事例などを瞬時に分析し、とるべき対策を列挙することにより人間の思考をサポートするシステムが必要である。

さらには、公的部門、企業における「戦略」の策定過程の行動科学的分析を推進し、競争的状況下において迅速かつ効果的な意思決定がなされるようにすべきである。

（高安　美佐子）

⑧工学的手法によるマネジメントに対する過信の問題、データフローストックのマネジメント、知の構造化

データベース・マネジメントシステムは長年に渡り着実に技術的な発展を重ねてきた一方、実際のデータの蓄積と活用は必ずしも十分とは言えないことある。例えば、最近では学術論文の引用数調査が簡便に行われるようになった。このようなことを可能にするためのデータベース・マネジメントの基礎技術は、すでに確立されていたが、学術論文の引用データベースが実装され利用されるようになったのは比較的近年のことである。このデータベースは、研究のインパクトを定量化し、また研究分野間の関連性をも明らかにするという意味で、研究者のみならず社会に与える影響はきわめて大きい。別な例としては、医療データを集中的にデータベース管理することにより、個々の病院が提供する医療の質に関する情報が患者にオープンになりつつあるのも最近のことといえる。ナレッジベースや知識工学は、より高度な知的活動を支援するためのツールを開発する分野として重要な位置を占めている。

（技術的重要性）

データベース・マネジメントシステムに関しては、確立された技術を有効利用するための社会的環境を整えることが重要であろう。一方、ナレッジベースは、これからも知識工学、人工知能、認知科学などと相互に影響し合いながら、基礎研究の進展が期待される。

（社会的重要性）

データの集中管理とデータをオープンにすることにはきわめて重要な意味がある。ただし、個人情報とセキュリティの問題があるのでその点は注意が必要となる。ナレッジベースの実用化は、通常のデータベースの活用とは質的に違う変化を社会にもたらすであろう。ナレッジベースは、人々の知的作業の方法に変化を与えるという意味で、マネジメントへのインパクトは計り知れない。

（増田　靖）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
小さな現象から将来を洞察する／ビジョン形成手法	1	実験経済学等の研究により、個人の心理、意識の分析がなされ、意思決定を予測できるようになり、これが企業組織、市場等の制度設計及び企業の製品開発、技術開発に用いられるようになる
	2	認知心理学や脳科学などの理論に基づき，言語化が困難な考えや感情を引き出し，消費者自身が自覚していないニーズやウォンツを理解する研究が進み，研究開発やマーケティング等に応用される
	3	新聞・論説記事間の関係を可視化し、社会問題を構造を明示することにより、政策立案を支援する手法を一般に利用可能とする
国際競争力低下を防止するためのマネジメント／外国人と対等に戦える人材育成／異文化の共働マネジメント	4	グローバル化した日本の大企業の約半数おいて、社内公用語は英語になる
	5	日本企業同士のアライアンスの発想から、企業の国際競争力を向上させるための海外企業とのアライアンスへの転換が進む
	6	アジア地域の経済統合が加速され、その体制の中で我が国が果たすべき役割が明確になっていく。国益観念にこだわらないアジアの繁栄と平和のための国家づくりが意識されるようになる
	7	国際競争力の回復に向けて、異文化を前提とするマネジメント能力を向上させるため、歴史、文化、言語、法制度、価値観の違いを理解するための能力に関する研究が促進される
	8	頭脳労働に対する対価が世界的に平準化し、高度専門家は国境を越えて自由に移動するようになる
	9	設計、開発、製造、運用、保守、廃棄などの生産活動を支援（最適化・効率化・許認可申請など）する高度なバーチャルマニュファクチャリングシステムと運用システム
	10	研究開発・設計の期間短縮、製品競争力強化を狙いとして、強度、性能、信頼性、環境性、生産性など製品評価項目の全てを評価できるデジタルモックアップ技術
	11	国際的経済活動に適用される、商法、取引法、税法、競争法、知的財産権法の国際的統一化が進み、そのような国際標準に基づく企業の国際的経営の容易化
	12	売上額の 1/2 が海外で発生するようなグローバル化した日本の大企業では、新たな協働システムが構築され、その中枢を担う管理職、専門職の 1/3 以上に外国人労働者を採用するようになる
	13	初等教育において留学制度が開始されるとともに、インターナショナルスクールの誘致が促進されるようになる
サービスマネジメント／教育研究分野のマネジメント／マネジメントにおける環境経営／政府機関のマネジメント	14	需要予測の精度と生産・物流の応答速度が上がり，過剰在庫や欠品による機会損失がほぼなくなる
	15	さまざまなインセンティブシステムにより，電力の需要の平滑化が起こり，ピーク時需要が下がるとともに資源の有効利用が進む
	16	地球温暖化、環境問題深刻化に対処するために、何らかの形でエネルギー多消費型の人の移動が制限されるようになる
	17	我が国において、カルテは動画を含み電子化され、患者個人の管理になり、検査その他の情報は全医療機関で共用され、それを元に患者と医療機関との間に健康管理エージェント業が成立する
	18	製造された工業製品の部品ひとつひとつにその履歴(製造者、材料、部品、性能・特性変化、使用者等)を識別できるICチップを埋め込んだ、工業製品の生涯追跡システム
	19	レジ、接客など人的サービスを代替できるロボットや情報システムが一般化する
	20	我が国において、歴史的建造物や景勝地の保護がより重視されるようになり、自然環境、公共財、住環境の保持・整備のために個々人、法人による資金の拠出が促進されるように法律が整備され、多面的な公共的価値がさまざまな方法で保持されるようになる
	21	我が国の公共部門、企業部門の組織において必要とされるシステムについて要件定義を明確に行う方法が確立し、IT投資管理が効果的に行われるようになり、必要なIT環境を迅速に実現できるようになる

区分	番号	科学技術課題
	22	資源配分やスケジューリング問題のような最適化問題が効率的に解決できるようになり、企業の費用削減に貢献する
社会イノベーション、ネットワーク創発／創発誘発する仕組み	23	大学、企業、研究所、そして研究者個人が抱える「知識シーズ＝知的遺伝子」を「遺伝子」のようにデータベース化する方法が開発され、社会的なニーズと最適にマッチングさせながら、設定した目標に対して、どの「知的遺伝子」のどのような組み合わせで、どのような分野でイノベーションが起こりそうかを、ほぼ正確にシュミレーションできるようになる
	24	貧困の根絶、環境保全、育児支援、介護支援などの社会的問題の解決を目標とした社会的企業の生み出す GDP が国全体レベルの 15%を超えるようになるか、また、そのような企業形態の抱える雇用が国全体の雇用の 30%を超えるようになる
	25	諸個人が、家族単位を超えたレベルで、どのような地域社会集団、生活支援組織とどのように関っているかを社会資源とそれが埋め込まれた社会ネットワークという形で悉皆調査し、個人ベースの国勢調査に加えて連結個人＝社会ネットワーク・レベルの「ソーシャル・キャピタル調査」が国によって行われるようになる
	26	ネットワークインフラの発達により、リアルなオフィスに代わってバーチャル・オフィスが主流になり、居住・仕事の物理的場所の差の意味がなくなる
	27	上場企業において、個人が企業への所属の有無を問われることなく、個人あるいはフリーランスとして、プロジェクト方式により、その企業のために商品開発や戦略構築を行う方式が標準的経営スタイルとなる
	28	オープンソース・ソフトウエアの供給方法のように、消費者が自分の欲しい財・サービスを、自分たちが中心になって共同で開発、生産、販売、サポートするシステムが、価格の高低を問わず多様な財・サービスについて行われるようになる
	29	企業や各産業分野の技術課題が広く公告され、公募による解決策が提案され、またはコンテストの要領で審査され、新発見・新技術開発の速度を加速化する方法が一般化する
人間のマネジメント（格差縮小社会）／ダイバーシティー／人間系のナレッジ／教育／標準化による教育質維持／直感力を鍛える	30	日本において、ワークシェアリングを機能的に活用することにより、雇用を確保して格差縮小社会を実現しつつ、国際競争力も保持
	31	大学院教育から職業訓練において、リカレント教育が一般的になり，人材が社会構造の変動に対応して流動するようになる
	32	熟練者の判断過程や技能・ノウハウを明示化して、他の者による再利用や学習を可能とするサポートシステムが広く普及する
	33	高齢者、身体障害者が情報ネットワークに参加しやすい情報端末機器及びソフトが広く普及する
	34	女性の人的資源活用のため、結婚、出産、育児と仕事の両立化を推進する社会的環境（例えば上場企業の 3 割で託児保育施設が設置される等）が我が国で実現する
	35	我が国において、個人の動機付けと報酬の関係を明確にした雇用契約と、それを可能にする人的資源の評価方法が確立し、労働生産性が毎年 2%以上向上する
	36	脳科学の進展により、人間の直感や創造力などのメカニズムが明らかになり、マネジメントなどの現場で利用されるようになる
ガバナンス・ストラクチャー／アセスメント	37	過度に投機的なマネー、CO_2 削減、搾取工場などの世界的問題に対処するために、各国政府の枠を超えて世界共通の枠組みで経営問題をガバナンス、すなわち「監視」、「管理」、「調整」する組織が確立され、より権限を持ったグローバル・ガバナンス体制が確立される
	38	プロジェクト・リスクに関する共通化・普遍化された評価・管理システムが確立する
	39	地震リスクマネジメントの一般化
	40	地域のコミュニティに基づく防災・福祉活動の能力を向上させるための効果的な情報システム・社会制度構築
	41	海外からの基本特許を取り巻く改良型の大量出願戦略から、自らのコアテクノロジーに基づく基本特許重視型の特許戦略への転換により、国際競争力のある特許保有国家が指向されるようになる。基本特許と改良特許のバランスを戦略に組み込み、特許先進国へ変革していく

区分	番号	科学技術課題
マネジメント強化（ルーシング・ライトの視点、知的財産、技術価値評価、金融工学、経済物理、思考停止にならないマネジメント）	42	国内出願の見直しにより実際に活用できる特許を構築するようになる。同時に、国内出願重視から国際出願への大規模な転換が進められ、国際特許取得による国際競争力の更なる向上が図られるようになる
	43	イノベーションを推進する視点で、過度の知的財産権の主張が制限されるようになり、それに対応してイノベータによるリスクテイクの対価としての法的補償制度が国際的に普及する
	44	上場会社の抱える事業リスク等を数量的に把握し、定期的に公表することが制度化され、数値化されたリスクを最適な事業ポートフォリオの構築などによって効率的に低減させることが、わが国の大企業の経営において広く実行されるようになる
	45	アジア、ラテンアメリカ、大陸ヨーロッパ等の企業において、アメリカ合衆国、イギリスの株主主権型とは異なる固有のコーポレートガバナンスが、株主主権型に対応するコーポレートガバナンスとして一定の地位を確立する
	46	株主以外のステーク・ホルダー（従業員、消費者、その他等）が、株主と類似する企業所有権をもち、残余利益請求権を認められるような新しい企業形態が一般化する
	47	企業内部に適用される効率的なモニタリングとインセンティブ制度が開発され、大幅な権限委譲が可能となり、労働生産性が現在の2割増まで上昇する
	48	通貨価値の変動や、エネルギーをはじめとする国際商品価格の変動によって生じるマーケット・リスクを軽減するために、我が国の主要企業(上場企業の3割以上)は、このリスクをもたらす要因（リスク・ファクター）を事前に特定し、リスク量を日次ベースで計測して、管理（コントロール）するようになる
	49	研究開発のプロジェクト・マネジメントにおいて、研究計画、実施、コントロール、評価、それぞれの方法が確立し、労働生産性でみた研究開発の効率性が平均で2割増になる
	50	ゲーム理論による競争、交渉、協調の分析が進み、現実の政策決定、企業の意思決定に応用されるようになり、その意思決定様式が大きく変化するとともに、競争政策、産業政策等の現実の公的部門、企業戦略等の企業部門の制度設計への応用が一般化する
	51	金融政策等の経済政策が精緻化し、インフレーション、デフレーションをコントロールし、景気変動が大幅に減少する
	52	我が国において、公的部門、企業における「戦略」の策定過程の行動科学的分析が進み、競争的状況下において迅速かつ効果的な意思決定がなされるようになる
工学的手法によるマネジメントに対する過信の問題／データフローストックのマネジメント（データベース）／知の構造化（知識を関連して保存）	53	新たな創造のために、ある知識に対して関連する知識を速やかに取り出せるよう、知識を構造化する手法が定着する
	54	ものづくり、製造技術の暗黙知（基本技術・技能、ノウハウ、経験など）を形式知化する技術が確立され、技術の伝承が着実におこなえるようになる
	55	組織内部に蓄積された「データベース」、「ナレッジベース」、「知識ネットワーク」等の評価・活用法が確立し一般化する
	56	環境にかかわるデータベース・知識ベース等の知識情報基盤を活用した多様な利害関係者による協調的意志決定システムが確立される
	57	映像デジタル化、バーチャルリアリティ技術を活用した伝統芸能などの無形文化財、パフォーマンスの保存・保護および技術伝承に関わる技術が確立される
	58	企業内部に蓄積された「データベース」や「ナレッジベース」等の取引の仕組みが、企業の内外に形成され、経済的動機に基づいて、「データベース」や「ナレッジベース」が活発に取引されることが一般化する
	59	人工および自然の物質・システムの健康や環境に対する長期的影響評価のためのシステムが確立し、危険・ネガティブ情報に関するモニタリング情報・サーベランス情報が政府により体系的に提供されるようになる

第12節　No.12 分科会：生活基盤・産業基盤を支えるインフラ技術群

1. 検討範囲

No.12 分科会で設定された検討範囲は、以下の通りである。

図 3-5:　No. 12分科会における検討範囲のフレーム

サブ戦略 ＼ 手段（技術・制度）		ハード（技術）	⟷	ソフト（制度）
（1）土地利用戦略	都市・農村集落のかたち戦略 自然の保全戦略			
（2）生活支援戦略	多様化対応戦略 少子高齢化対応戦略 安全・安心の確保戦略 コミュニティ形成戦略 生活クオリティ向上瀬略 既存技術の活用戦略			
（3）生産支援戦略 （第一次産業、 第二次産業、 第三次産業）	原材料・食料の枯渇対策戦略 安全確保戦略 環境対策戦略 産業振興・構造改革戦略			
（4）交流・交易戦略 （運輸・通信）	高速化戦略 省エネルギー戦略 環境保全・低負荷化戦略 高齢社会対応戦略 安全・安心の確保戦略 インターモーダル戦略 モビリティマネジメント戦略			
（5）インフラシステムの持続化戦略	不用需要の削減戦略 エネルギー源・供給単位を変更するための技術戦略 インフラの省資源・低環境負荷化戦略 インフラ単体構造物・材料長寿命化戦略 インフラシステムのリダンダンシー強化戦略 維持管理の低コスト化・簡便化戦略 新材料活用・材料性能発現化設計戦略			

2. 要点

生活基盤・産業基盤の究極の目的は、わが国および人類全体のクオリティオブライフの維持・向上にある。今日のわが国および世界の大多数の国や地域は、大局的に捉えれば、少子高齢化により生産力が低下するとともに、モータリゼーションに起因した都市・農村の拡散などにより、コミュニティの有機性が損なわれる一方で、人間活動の結果として、地球環境に変調をきたして気候が変化し、従来に比べて強い自然現象が生じて災害となって脆弱化した人間社会に降りかかるという図式に陥りつつある。このメカニズムが、わが国のみならず世界各国・地域の経済、環境そして社会へ正負の連鎖を引き起こす。

科学技術課題の検討においては、まず大目的を「QOLの向上」と定めた。「QOLの向上」の中には、1）生きるための“糧”としての産業の活力の視点からの「経済の持続性」、2）資源・エネルギー・地球環境・生物多様性・防災などの視点からの「環境の持続性」、そして、3）歴史・文化・伝統・高齢社会などの視点からの「社会の持続性」、が求められる。そして、これらへの対応が求められる。これらのサブ目的を達成

するためには、いくつかの代替的な道筋としての「戦略」があると考えられるが、これに係る戦略として、「土地利用戦略」、「生活支援戦略」、「生産支援戦略」、「交流・交易戦略」、「インフラシステム持続化戦略」の5つの戦略をあげた。これらの戦略を達成するためのサブ戦略の検討も併せて行う。これらのプロセスから、“Plan”“Program”“Design”に相当する科学技術課題の設定を行った。その際に、単にハード（技術）だけでなく、ソフト（制度）まで含めて幅広く検討を行った。なお、おのおのの戦略あるいはサブ戦略は、複数のサブ目的に対して有効な場合もありうる。

ここで、本分科会における科学技術課題の設定においては、デルファイ調査にかけにくい課題が複数ある（既存技術の組み合わせ等）。例えば、エコロジカルプランニングといった領域では、開発に対する国土等の抵抗力を把握することや Design-nature の視点を取り入れることで、かなりの土砂崩れを防ぐことができる。これらの技術は、国土を開発するのではなく、変えないという視点に立つものである。そのため、科学技術課題を設定する上でこれらの要素も考慮した。

本分科会の検討範囲を取り巻く状況として、これまで国土を保全してきた体制（人、地域コミュニティ）が崩壊しつつある。もし、崩壊した場合は、ハードでの対応或いは補助金で支える構造となる。特に、Man-made landscape では、人が関与することが求められる。これらの問題について本質を捉えた対応が不足している。その意味で、これらに関する科学技術課題を考えると、エコロジカルプランニングの充実等、技術管理する、技術をコントロールする視点が重要である。そして、同時に、良質なインフラを復活する視点やランドスケープに関するデータベースの構築も欠かせない。

（林　良嗣）

3. 各区分の概要

①土地利用戦略

土地利用は、経済、環境、社会の持続性を達成するための根源的な要素である。20 世紀の都市地域中心型の国土経営から、国土の 6～7 割の森林、国土の 4 割の里地里山の管理、国土の 5 割の農村地域の自然・田園環境の保全・利活用・管理にフォーカスをしぼった 21 世紀型の国土経営に本腰をいれなければならない。このとき重要なのは、これまでの経済的視点のみの計画論から、Design with Nature の思想、Ecological planning 手法の活用、市民の Eco-life style の普及などへ新しい計画・事業展開へ向かうこと、そのために GIS など自然環境調査、情報の収集、提供、専門家養成なども工夫すべきであろう。

20 世紀を建設の時代だったとすれば、21 世紀は管理経営の時代であろう。自治体経営、国土経営、環境マネジメントがどのスケールレベルでも、また都心からの自然地域まで、どの地域でも求められる。その内容も生態系の管理、環境管理、エリアマネジメントなど地域管理、ランドスケープマネジメントなど景観管理へと多岐に亘って必要である。人口減少の趨勢の下、適切な二次自然の管理のためには、人と自然との関係のあり方が問われる。

サブ戦略としては、「都市・農村集落のかたち戦略」、「自然の保全戦略」などが考えられる。

【都市・農村集落のかたち戦略】

一人当たり所得が 3,000ドルを超した 1970 年代以降に乗用車の保有が可能となり、モータリゼーションが進展したことから、都市や農村の集落は、スプロールし、経済活動の効率性、エネルギー環境の効率性、そして地域コミュニティの有機性の維持・向上の観点から劣化していった。それらは、上述の 3 つの持

続性を損ない、人々のクオリティオブライフを低下させてきており、放置すると致命的な状況を招く恐れがある。そのため、今日では、これらを回復する技術・制度が重要となってきた。

【自然の保全戦略】

人間の経済活動の進展により、一般に都市や農村の周辺における自然資源が劣化してきた。自然は、地球環境、生物多様性を維持向上するために必須の資源であり、所得が向上したが脆弱化しつつある成熟社会において人々のクオリティオブライフを維持・向上させるには、これらを回復する技術・精度が重要となってきた。

（進士　五十八、林　良嗣）

②生活支援戦略

これまで、社会基盤としてのインフラストラクチャーは、国民に対して一律の水準での提供を行うことを目的に整備されてきた。しかし、生活様式や価値観の多様化、都心回帰、少子高齢化など、今後の社会には個人格差や地域格差がより大きくなることも想定される。本戦略は、このような社会において、多様化する個人一人ひとりに合わせる形で、生活の安全・安心を確保しながら、より質の高い生活を追求できる社会基盤を実現するための予測課題で構成される。

サブ戦略としては、「多様化対応戦略」、「少子高齢化対応戦略」、「安全・安心の確保戦略」、「コミュニティ形成戦略」、「生活クオリティ向上戦略」、「既存技術の活用戦略」などが挙げられる。

【多様化対応戦略】

国民全体に一律に提供するのではなく、個々の地域や種々の属性を有する個人の活動を支えるインフラの開発と設計技術が重要となる。また、多様な生活様式への対応と高齢者対策等を考慮すると、インフラ機能を「保持する技術」が重要となる。さらに、これまで注目されがちであった理学的・工学的技術だけに注力するのではなく、その成果を一人ひとりの生活支援に役立たせるための制度的・社会技術が必要である。

【少子高齢化対応戦略】

少子高齢化により脆弱化していく地域社会を支えるには、バリアフリー化のいっそうの推進、地域コミュニティ内部で高齢者同士、高齢者と若い母親や子供のふれあいを促すような公園や集会施設の設計、全く新しいシステムを含む交通手段の確保と技術開発などが重要となる。

【安全・安心の確保戦略】

生活支援としてまず「安全・安心の確保戦略」が社会として求められるものであり、気候変化により自然災害リスクが高まり、他方では犯罪が増加する社会においては、防災・防犯対応を意識したインフラの計画・設計、そのための技術の開発はいっそう重要となる。また、個々人一人ひとりに物資と情報が届く社会であることが求められ、そのための技術の確立が重要である。生活を脅かす災害や犯罪、テロ行為等を未然に回避するためには、それを「予測する技術」と「発見する技術」の飛躍的な向上が重要となる。

【コミュニティ形成戦略】

インフラは、ここの個人の生活を支えるだけでなく、人口が減少し、少子高齢化して行く過程では、コミュニティの構成員が有機的な関係が保てることが重要であり、それを促進するインフラシステムの提案が必要である。

【生活クオリティ向上戦略】

高齢・成熟社会においては、生活の物的・量的支援だけでなく、クオリティオブライフを向上させるための戦略、すなわち、日常生活のケア、介護、アメニティ向上などを支える新しい技術・制度が必要とされる。

【既存技術の活用戦略】

技術開発においては、その技術により得られる成果の精度向上が重要なテーマとなるが、必ずしも社会から求められる精度を完全に達成できるとは限らない。そのような中、その達成を待つことなく、「その技術がその時点で実現できる範囲で、どれだけ生活を支援できるか」という視点も生活支援においては重要であり、「今実現可能な技術を今の生活に活かす」ための技術にも期待がかかる。

（臼田　裕一郎）

③生産支援戦略（第一次産業、第二次産業、第三次産業）

社会の経済の基盤は各種産業であり、その健全な発展は快適な国民生活の大きなキー要素である。同時に、生産は衣食住の根本を支えるものであり、特に第一次産業はその中でも重要な任務を負っている。日本では近代化とともに先進国に追いつき、追い越して順調に発展して来た。しかし追われる立場になった今、中国・インド等の大規模・急速な台頭による原材料開拓競争、国を超えた食料、製品等の安全性といった地球規模の状況の変化への対応に迫られている。人類の発展と生活環境とが相反事象となる事態が時により現れる。人口爆発、高齢化、環境破壊等々が懸念される状況で、生活を支える生産と生活環境を両立させるための生産支援戦略分野の重要性は益々増大していくと考えられる。

本戦略分野では、このような状況での生産の有り方とそれを支えるインフラ技術の有り方についての予測課題で構成される。

生産支援戦略には、現在の社会問題への対応と産業振興を目指すという観点で、「原材料・食料の枯渇対策戦略」、「安全確保戦略」、「環境対策戦略」、「産業振興・構造改革戦略」のサブ戦略が必要となる。生産支援戦略分野は、生産について生産その物ではなく、長期的視野で人間の生活環境と適合した生産を実現していくという角度からスポットを当てる境界分野・複合領域的技術であり、継続的・包括的取り組みが重要である。

【原材料・食料の枯渇対策戦略】

国際規模の爆発的人口増加，工業化進行により，原材料・食料の枯渇問題が既に顕在化今後益々深刻化することが予想されており対策が重要である。

【安全確保戦略】

食の安全確保，特に海外で安全な食料を生産するしくみは，国内で供給満足が不可能なわが国においては非常に重要である。

【環境対策戦略】

工業では過去には生産性だけを追及し，公害等の問題をだした時期もあったが，このような問題は現在の日本ではほとんど見られなくなった，しかしより大きな自然界との親和性という点ではまだまだ未知・未確立の部分も多く，長期的に自然と適合した生産という意味ではこれから益々重要度の増していく分野である。

【産業振興・構造改革戦略】

既存産業分野は頭打ち，或いは他国との市場競争の場となり，新しい分野の開拓による需要喚起が重要である。と同時に，既存分野においても構造改革による安定性，効率性の向上が重要になって来る。

（市川　雅也）

④交流・交易戦略（運輸・通信）

交流・交易戦略は、産業間あるいは産業と消費者の間を結び付けて経済を活性化させ、あるいは互いに異なる地域や社会が連携して補完しあって、経済や文化を豊かにするための戦略である。一方で、今日的には、同じ機能を発揮するにも、資源・エネルギー・環境負荷を極力低減させねばならない。

サブ戦略としては、「高速化戦略」、「省エネルギー戦略」、「環境保全・低負荷化戦略」、「高齢社会対応戦略」、「安全・安心の確保戦略」、「インターモーダル戦略」、「モビリティマネジメント戦略」などが考えられる。これらは、国際レベル、国レベル、都市・農村レベルの、各々のレベルで想定される必要がある。

【高速化戦略】

鉄道については、競合する航空との競争上、速度進化が著しい。超電導技術を用いたリニア新幹線は、2025 年の東京―名古屋間の営業運転を目指して、実験線の延長と車両側・インフラ側両方の技術的改良が求められ、進められている。また、従来の鉄輪方式新幹線の軽量化が進められ、高速化と騒音・振動のトレードオフをより高いレベルでクリアしようとしている。

船舶については、その高い省エネルギー性を、今後重要を増すと見られる東アジア域物流など、より広い範囲の輸送に活用するために、高速化技術が求められている。具体的には、高速化のために必要な高荷重度で高性能を発揮する新しい推進システムや、多胴船など高速域での抵抗が少なく且つ高い凌波性をもつ新船型の開発が求められている。

【省エネルギー戦略】

景気の変動に左右されながらも、石油資源はいずれ逼迫し、それに代わるエネルギー資源が台頭するであろうが、省エネルギーの基調は変わらないと思われ、より一層の省エネルギーを実現する新しい交通形態が求められている。

このうち、国内の都市間交通では、人の交通での鉄道利用の促進が進んでいるものの、物の交通では自動車利用から鉄道や海運へのモーダルシフトが必要である。また、都市内交通では、自動車の発生源対策とともに、交通流体策が必要であり、特に都市内物流では、自動車の効率的な利用が求められている。海上交通では、省エネルギーは CO_2 の排出低減に直結し、現代の緊急課題である地球温暖化対策の意味でも重要であるため、従来よりも画期的に高い省エネルギー性能をもつ船舶が求められている。航空機においても，環境適応の観点，運用コストダウンの観点等の面から省エネルギーが求められ，航空機自体，運行方法等で努力が続けられ，常に改革が求められている。

以上の陸・海・空を通じて、また国際・都市間・都市内を通じて、トータルとして高い省エネルギーを実現するシステムが求められている。

【環境保全・低負荷化戦略】

地球の人口は大幅に増加しつつあり、人間の社会生活が地球環境に及ぼす影響は最小に止めなければならない。

自動車、船舶、航空機にいずれについても、内燃機関から排出する CO_2、NO_X、SO_X などの大幅低減が求められている。

特に、自動車交通では、発生源対策が求められているとともに、環境負荷の小さい他の交通手段（LRT、自転車など）との併用を進めていく必要がある。また、船舶においては、船底塗膜やビルジ水、海難事故時の流出油などによる対環境負荷を大幅に低減する新技術が求められている。航空機においては，複合材等の新材料利用等による軽量化，高効率エンジン，高効率機体形状，自然エネルギー利用等新技術が求められている，また航空管制等にも新技術が必要である。

【高齢社会対応戦略】

日本の高齢化は急速に進みつつあり、これからは従来よりも少ない人数で操作できる省力化された、且つ今まで以上に安全なシステムが求められる。

自動車交通では、ITS 技術などを活用した安全な走行システムの実現や、高速道路における自動運転などが検討課題となっている。また、海上交通では、船舶という巨大なシステムを少ない人数で安全に運航させるための新技術の開発が求められている。航空機においても、安全性の高い少人数での運航を可能とする航空機，航空管制のシステムの開発が求められている。また，高齢者にとり航空機での移動は負荷が大きい場合もあり，運行の高速(短時間)化，機内環境の改善にも新技術が求められている。

【安全・安心の確保戦略】

交通の安全を実現するためには、ヒューマンファクターの研究を含めて、非常に多くの要素について、IT 技術を応用するなどして技術のレベルアップが必要である。

道路交通の場合は車両のアクティブ・パッシブコントロール、道路インフラのインテリジェント化と、路車間通信の進化による交通事故の防止、鉄道については、列車の速度情報報告的な技術を超えて、車輪の安定性などの情報をリアルタイムで伝達して速度修正指令を出すなどの技術開発が期待される。船舶の場合は海難事故の防止、航空機の場合は航空事故の防止という視点で、システム開発が必要である。

【インターモーダル戦略】

人の交通でも物の交通でも、また国際交通・都市間交通・都市内交通でも、環境負荷を低減しつつ産業を活性化できるように、さまざまな交通手段を適切に組み合わせた交通行動を実現できるようなインターモーダル・システムづくりが必要である。

特に、都市内交通について考えてみると、人の交通において過度な自動車利用は、交通渋滞や環境劣化を引き起こすため、自転車やバスや LRT などの交通手段との組み合わせをはかっていく必要がある。

また、物の交通においても、集配送時の台車・自転車の利用や、都市内配送での鉄道利用、都市間におけるモーダルシフトや自動車と鉄道とのシームレスなインフラの組み合わせの必要がある。

【モビリティマネジメント戦略】

都市・地域の活力増進にあたって、地域モビリティの質的改善は最も本質的で、重要な課題の一つである。そして、そのためには、効率的で、かつ、快適で利便性が高い交通インフラストラクチャーの整備が不可欠であるが、同時に、インフラを適切に活用していくことも不可欠である。モビリティマネジメントとは、交通インフラの“かしこい使い方”を行政、企業や住民が共に考え、実施していく持続的な一連の取り組みを言う。

「過度」なクルマ利用は、渋滞、環境劣化、健康劣化、都市の郊外化、公共交通利用者の減少とそれに伴う公共交通モビリティの低下等、様々な形で地域モビリティの質的低下とそれを通じた社会的費用の増大もたらしている。

自動車需要が交通インフラ容量に見合った「適度」なものであるために、住民や従業者各自の交通行

動の変容を促す一方で、交通事業者や企業といった組織・法人においては、クルマ利用を一定程度制限するシステムの導入と、自転車やバスなどの交通システムの改善を促していく。

すなわち、モビリティを純粋に工学的・技術的なアプローチで改善していくのではなく、「社会的」に改善していくアプローチがモビリティマネジメントである。こうしたアプローチの応用範囲は広く、上記のようなモーダルシフトのみならず、買い物場所選択行動に応用すると中心市街地活性化に繋がり、居住地選択に応用することでコンパクトシティ形成に繋がる。今後は、こうした取り組みが広範かつ大規模に適用されていくことで、モビリティの質的向上が期待されるのであり、そのためのコミュニケーション技術の進展、財源システム・人材システムの整備が重要な課題となっている。

（市川　雅也、苦瀬　博仁、児玉　良明）

⑤インフラシステムの持続化戦略

昭和 30 年代に始まる高度経済成長期を中心にして大量に建設されたインフラは、近々建設後 40～50 年が経過することとなり、劣化損傷が多発する危険性が高まっている。また、情報通信インフラをはじめ、今後も引き続き時代の要請に即した新たなインフラを整備することが必要である。高齢化社会や環境問題への対応や災害時の機能確保など、インフラに対する制約やニーズが多様なものとなっている中において、安全・安心で利便性の高いサービスを持続的に提供していくためには、これまで以上に効率的で合理的なインフラ構築、維持管理のための技術とそれらのマネジメント技術・制度が必要である。

新たなインフラを整備するにあたっては、サブ戦略として、「不用需要の削減戦略」、「インフラの省資源・低環境負荷化戦略」、「インフラ単体構造物・材料長寿命化戦略」、「インフラ統合システム長寿命化戦略」、「維持の低コスト化・簡便化戦略」、「新材料活用・材料性能発現化設計戦略」などが必要となる。

膨大な数にのぼる既存のインフラストックをできるだけ長期間にわたって使用するためには、点検・診断技術の高精度化や省力化、新材料の利用も含む合理的な補修・補強技術の開発が必要となる。その一方で、機能不足や政策的理由などにより見直しが必要となったインフラの解体、更新、機能向上技術も重要である。

【不用需要の削減戦略】

水は代替燃料のように、代替水に替えることは多くの場合困難である。そのため、インフラ整備要請を減らすには、不用需要の削減が必要となる。これには、自動車税のグリーン化で成功したように、水の超過需要に対して価格を上げていき、節水のインセンティブを高めることが必要である。また、上下水道や電力などの需要を削減するには、土地利用戦略の一つとして都市や農村集落のスプロールを改め、コンパクト化戦略が有効である。また、地産地消は、不要な食料の輸送距離（food mileage）を減らし、インフラ整備量を減らすことに貢献する。

【エネルギー源・供給単位を変更するための技術戦略】

エネルギー源は、近未来に大きく変化する可能性がある。すなわち、自動車には化石燃料を使わない、あるいは、家庭用コジェネレーションに燃料電池等の技術がつかわれるようになってきており、都市や農村のコンパクト化戦略と併せて、従来郊外に広がった地域に対して整備してきたエネルギー・上下水道インフラを、局地で閉じた発電や水の有効利用を図って需要を削減することができる。

【インフラの省資源・低環境負荷化戦略】

インフラの材料として、従来の大量の鉄とコンクリートというCO_2多排出型の材料の使用を極力削減でき

る設計法の開発が急がれる。また、インフラの利用時のエネルギー消費を最小化するために、道路・鉄道の線形、異なる交通輸送機関のネットワーク接続性が重要となる。

【インフラ単体構造物・材料長寿命化戦略】

橋梁・トンネル・建物などの長寿命材料の開発と単体の構造体としての長寿命化設計は、省資源・低環境負荷、および財政制約の観点から、将来いっそう重要性を増す。

【インフラシステムのリダンダンシー強化戦略】

災害時においてライフラインを維持するためには、街や地域といった面的な広がりを考慮した上で、インフラ単体のみならずネットワーク全体の防災機能を向上させるための要素技術やマネジメント技術の開発が必要となる。システムとしてのリダンダンシーを確保できるシステム技術は、地域防災上、また地域単位での省エネルギー社会の実現に向けても有用であるものと考えられる。

【維持管理の低コスト化・簡便化戦略】

いずれの技術も安全の確保につながるものでなければならないことはいうまでもなく、その上で、省コスト、省人力、省エネルギーといった要請を満足する必要がある。さらに、インフラの整備や維持管理に関する施策の合理性を、社会に対して説明するための技術的裏付として資するものでなければならない。

【新材料活用・材料性能発現化設計戦略】

新たなインフラを整備するにあたっては、環境負荷を抑え、かつ長寿命の構造物が構築できるよう、新材料の活用技術、接合技術を含む新しい製造技術の開発、材料の性能を最大限に活かすことができる設計技術の開発が必要となる。

（舘石　和雄、戸河里　敏）

4. 科学技術課題

区分	番号	科学技術課題
土地利用戦略	1	土地利用変化に伴う地域環境変化検出するためのリモートセンシング技術
	2	地域社会・一次産業の変質と物質循環・災害リスク増大の連関分析・予測技術
	3	植生、地形、地質、水系、動植物など自然環境の情報はもとより、建築、集落、商業空間など土地利用情報が、それぞれ 1/5,000、1/10,000、必要に応じて定期的観測にもとづき、1/1,000、1/2,500 で全国的に提供できる GIS（Geographic Information Systems）土地利用情報集積活用システム
	4	流域－海域一帯環境調査および環境管理システム技術
	5	土地利用インフラ適合型コンパクトシティの動的形成技術
	6	地形地質、地下水、動植物など、自然環境条件の開発抵抗力、その逆に生態系保全上の保全必要性に依拠したエコロジカルプランニングシステム
	7	エコロジーと防災を基調とした国土管理計画手法（経済インフラと自然インフラのバランス及び個別技術の統合的評価による国土の計画設計管理制度・技術手法）
	8	災害発生確率やリスク評価に基づく土地利用規制
	9	地域の安全安心と魅力の継続する地域管理戦略が推進される公によらないエリアマネジメント組織
	10	クオリティ・ストック構築とエリアマネジメント技術による、都市・農村中心部の多年齢受容型かつ気候変化対応型「コーポラティブ街区」形成システム

区分	番号	科学技術課題
	11	農林業再生とサステイナブル・ヴィレッジの連携形成技術（農山村の環境維持に果たす機能を適正に評価し都市経済から得られる所得を農山村維持の投資に適切に回し、農山村の社会・産業と広域の自然維持機能をシミュレートし評価するシステム）
生活支援戦略	12	大規模災害の被災時用に食料・医薬品・生活用品などを備蓄する計画技術が確立するとともに、道路や電力通信などのインフラ機能を保持する設計技術が確立することにより、被災地内で避難と生存を高めるとともに、高齢者や病人・けが人を被災地外に脱出させる防災対策技術が確立する
	13	個人が現在いる位置を検出し、その位置の周辺情報（店舗情報、天気、環境情報など）とその個人固有の属性情報（年齢、性別、障害、健康状態など）から、その個人に必要とされる情報を判断してその個人に push 型で届けることができる技術が確立し、日常時の生活を支援するとともに、災害に対しては、可能な範囲での発生予測情報を即時に届けて未然に回避行動を促し、発生後には的確な避難行動を取れるようナビゲートするシステムが実現する
	14	多世代にわたる都市居住環境ストレスの解明と、それに対応できる住宅地設計
	15	M6 以上の地震の発生時期（数か月～1年先）、規模、発生地域を予測する技術が確立し、その時期と規模に応じて当該地域での防災施策（耐震化、備蓄、一時避難等）の実施を優先的に支援する制度が制定される
	16	爆発物や兵器、毒物等を迅速に発見してテロや環境汚染等を未然に防いだり、災害発生時には被災者を速やかに発見し救助を支援できるよう、人間の能力を超えた視覚・嗅覚・聴覚等を有するロボットまたはシステムが開発される
	17	中山間地などの交通不便地域などに居住する高齢者や生活習慣病患者の生活を支援維持するために、IT技術を利用した遠隔診療システムや健康管理システムが確立し、通院しなくても必要な医薬品や療養食が補給される物流サービスが始まる
	18	都道府県単位で対応が必要となる程の規模の自然災害が発生した際に、国や自治体の災害対策本部等が効果的な応急活動を行うことができるよう、被害把握や拡大予測を即時に行うことができるシステム
	19	加齢による動体視力低下等を考慮した公共空間における道路交通標識などの表示システム
	20	気象現象（降雨、台風、局所的豪雨、降雪など）により引き起こされる自然災害（洪水、地すべり、土石流、雪崩など）から人的被害を未然に防ぐために、当該自然災害の短時間（1時間程度先）予測および警報・避難・規制システムの確立と、それを実現するために必要な気象現象の高精度観測システムの確立
	21	地震や火山、洪水等の自然現象、あるいは人為的事故に伴う災害リスクポテンシャルを住民が認識、理解し、行政と協力して減災策を構築できるシステム
生産支援戦略（第一次産業、第二次産業、第三次産業）	22	建物内(含，温室)での農業が必要量の 50%以上となる
	23	Li, Be 等希少原料を廃品の中から 90%回収する
	24	地球上で希少な材料の必要量の 50%を他の惑星，衛星から採掘するシステム
	25	現在の海外旅行並みの安全性，百万円(現在価値)以下の価格の宇宙旅行
	26	漁場や海流などの水域環境と共存可能で、低コストで耐久性が高い有脚式または浮遊式構造物を主体とする海上都市(交通、通信、研究、生産、資源採掘、余暇活動の基地)
	27	少子高齢化の進展に伴う用水組合、水土里ネットの限界に対応した農地、水利水系保全再生システム
	28	市民的運動の加速化に伴う SATOYAMA イニシアチブ等の世界各国の伝統的自然共生精神の再評価技術
	29	土地の保全管理を維持するための UIJ ターン、マルチハビテーション
	30	地方の過疎化対策としての成熟製造業の支援体制(技術的イノベーションの達成、ノウハウのソフト化による伝承教育、経済的支援、文化としての継承)

区分	番号	科学技術課題
	31	景観の維持、改善のためには、清掃やのぼり、看板の撤去・改善といった短期的なマネジメント施策から、街路上の歩道整備や道路空間の再配分や景観規制の導入といった長期的マネジメント施策が必要である。そして、そうした各種のマネジメント施策を持続的に実施していくためには、それを担うマネジメント主体が必要であり、その主体が実効的に各種の施策を展開していくためには、その主体の活力が不可欠である。ついては、そうしたマネジメント主体の組織化と、その活力増進のための社会技術が今後の重要な技術的課題である
	32	大規模に企業化され，効率化された農業が必要量の 50%以上になる
	33	日本法人が経営し，海外の土地・労働力を利用した安全で安定し低価格な産物を供給できる農業が必要量の 50%以上になる
交流・交易戦略（運輸・通信）	34	高齢社会・低炭素社会のモビリティマネジメントをサポートする、地区から広域に至るシームレスな階層的交通システム技術
	35	CO_2 及び NOx 排出量を 50％程度低減する次世代クリーンシップの開発
	36	転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を大幅に半減させる新技術の開発
	37	大都市の中心部において、地下鉄や共同溝の空いたスペースを利用したり、建物内のパイプスペースを使って、トラックターミナルや配送センターからビルの各フロアーまで、自動的に宅配便や郵便物物品が自動的に搬送されるシステムが実用化される
	38	機体の一部が破損しても事故を回避できる自己修復航空機
	39	化石燃料に依存しない推進機関を有する航空機
	40	衛星通信技術等により、災害発生時にも遮断されず、輻輳も起さずに、平常時と同じようにテレビ並みの動画通信を可能とする無線通信システムが日本全土を網羅する
	41	インターモーダル輸送において、物資や商品の温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、輸送や保管の履歴を、記録・検査・照合することにより、資源の効率的なリサイクルも含めて、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレーサビリティ技術が実用化される
	42	都市間の貨物輸送における効率化を図るために、鉄道と道路、道路と港湾・空港、鉄道と港湾・空港の結節を円滑にし、結節点における時間・コスト・環境負荷を半減するシステム
	43	自動車内に各種センサが配備されることによって、一般道における追突事故や出会いがしらの衝突事故などを未然に防ぐとともに、エンジンやタイヤなど故障の予知が可能となり、安全かつ円滑に走行できる運転システムが実用化される
	44	一人ひとりの意識と行動に働きかけ、都市や地域、国土といったマクロなモビリティの改善を目指すのがモビリティマネジメントである。今のところ、数十万人規模の大きなモビリティマネジメントは実施されていないが、これは、そのための財源制度が十分に整備されていないからである。さらに、それを支えるコミュニケータ組織の整備も不十分である。今後は、社会技術開発として、そうした財源制度、コミュニケータ組織の整備が課題となっている
	45	都市間の効果的な移動を確保するTDM
	46	都市部の土地利用の流動性を担保するロードプライシング
インフラシステムの持続化戦略	47	従来の鉄鋼材料やコンクリート材料に替わる軽量高強度複合材料による、機械構造物、建築物、船舶等大重量構造物の製造技術
	48	超高層建築物や橋梁等において、将来的な解体や補修を容易にするために、物理的、熱的あるいは化学的な性質などを利用することで解体性を備えた接合技術
	49	構造物の機能拡張、更新、撤去、リユース技術
	50	寿命、更新時期を知らせるセンサが埋め込まれた構造物
	51	スケルトンインフィル設計の一般化
	52	コミュニティ単位で自然・未利用エネルギーを活用し、物質循環サイクルを形成する技術
	53	建物構造性能・環境性能のモニタリング・評価・保全技術
	54	インフラの劣化情報データベース
	55	予め構造物に埋め込み、外部から無線で電力を供給することなどで半永久的に非破壊で構造物の健全性を検知する技術

第4章　重要領域と科学技術課題の関連付け

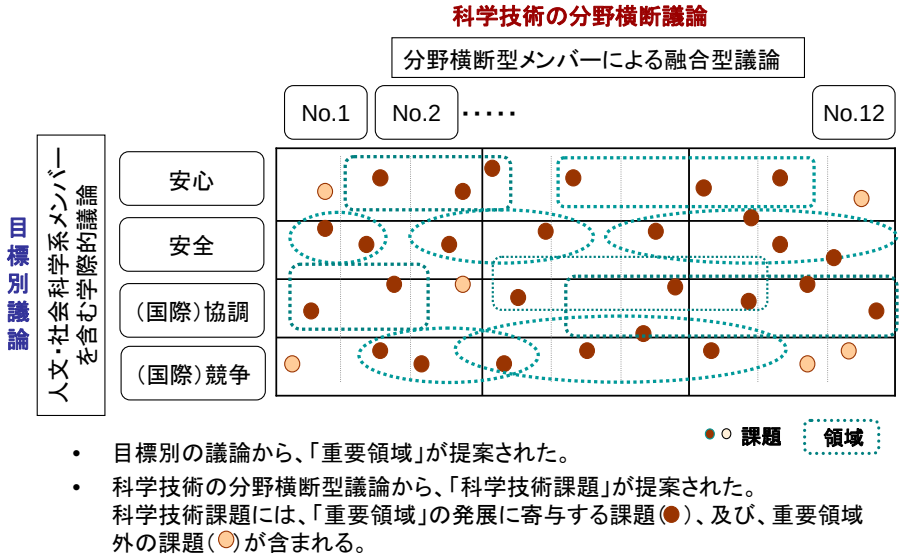
第 3 章までの結果をもとに、ここでは重要領域と科学技術課題の関連付けを試みる。このような考察を行うことは、各分野の研究開発が将来の社会との関連性をどの程度認識して行われているかという視点で現在の潜在的な問題点を洗い出すことになり、また、新たな分野融合・連携の余地や新たなイノベーションの起こる余地を見出せる期待もあり、第 4 期科学技術基本計画の枠組みを考えるうえで有意義と考えられる。

第1節　全体的なマッチングの傾向

目標別分科会から将来的に注目すべきとして挙げられた「安全」「安心」「協調」「競争」の項目に関する 24 の重要領域と、様々な分野を含む 12 の科学技術系ナンバー分科会から出された 837 の科学技術課題との関連付け（マッチング）を試みた。マッチングは図表 4-1 のように、個別の科学技術課題に対して行い、その際には、その科学技術課題がどの重要領域の発展に寄与するかという観点で、重要領域と科学技術課題との関連づけを行った。なお、一つの科学技術課題が複数の重要領域と関連づけられる重複も可とした。

ただし、科学技術課題を重要領域毎に分類すること自体には大きな意味はなく、むしろ関連付けから今後の示唆を得ることに意味があると考えられるため、ここでは、重要領域および科学技術課題のいずれにおいても、文言の拡大解釈をできるだけ行わないようにしている。もし拡大解釈をしてしまうと、間接的あるいはかなり遠い関係において、ほとんどすべての科学技術課題がどこかの重要領域にマッチング可能になってしまい、その結果として本調査の意図する新たな科学技術の検討に関する議論の余地が失われると懸念されるからである。

図表 4-1：　目標別分科会から挙げられた重要領域と科学技術系ナンバー.分科会から出された科学技術課題のマッチング



- 目標別の議論から、「重要領域」が提案された。
- 科学技術の分野横断型議論から、「科学技術課題」が提案された。
  科学技術課題には、「重要領域」の発展に寄与する課題（●）、及び、重要領域外の課題（○）が含まれる。

検討の結果、図表 4-2 a.のように、837 の科学技術課題のうち 412 課題（49%）にマッチングがみられた。科学技術課題は研究開発の視点から設定されたものであるが、想定していたより遥かに高い 49%というマッチング割合を示した。マッチングできた課題は、のべ数が 607 に対して実数 412 と約 1.5 倍であり、図表 4-2 b.のように、1つの課題が複数の重要領域にマッチングしているケースがある。殆どの重要領域は複数の科学技術課題とマッチングしている。

例えばNo.2 分科会から提案された「すべての個人の日常行動が把握され、統計的に処理され、混雑、事故等を適切に検出し自動的に対策をとる社会システムが実現する」という課題は 6 つの重要領域とマッチングしており、将来社会から見て極めて必要性が高いと言えるだろう。一方、科学技術系ナンバー分科会ごとに重要領域全体とのマッチング割合を比較すると、マッチング割合が高いのは、「No.2 情報処理技術をメディアやコンテンツまで拡大して議論」、「No.7 水・食料・鉱物などあらゆる種類の必要資源を扱う」、「No.8 環境を保全し持続可能な循環型社会を形成する技術」、「No.12 生活基盤・産業基盤を支えるインフラ技術群」である。一方、マッチング割合が低いのは、「No.4 IT などを駆使して医療技術を国民の健康な生活に繋げる」、「No.10 産業・社会の発展を総合的に支える製造技術」であった。

図表 4-2： 目標別分科会からの重要領域と科学技術系ナンバー分科会からの科学技術課題のマッチング

a. マッチング課題数及びマッチング割合

No.分科会	No.分科会の内容	課題数	重要領域とマッチングした課題実数 ＊（ ）内はのべ数	マッチング割合（%）
1	ユビキタス社会に、電子・通信・ナノテクノロジーを生かす	71	25 (33)	35
2	情報処理技術をメディアやコンテンツまで拡大して議論	78	57 (112)	73
3	バイオとナノテクノロジーを人類貢献へ繋げる	63	24 (27)	38
4	ITなどを駆使して医療技術を国民の健康な生活へ繋げる	85	23 (29)	27
5	宇宙・地球・生命のダイナミズムを理解し、人類の活動領域を拡大する科学技術	67	22 (25)	33
6	多彩なエネルギー技術変革を起こす	72	44 (70)	61
7	水・食料・鉱物などあらゆる種類の必要資源を扱う	60	43 (61)	72
8	環境を保全し持続可能な循環型社会を形成する技術	68	50 (76)	74
9	物質、材料、ナノシステム、加工、計測などの基盤技術	83	37 (57)	45
10	産業・社会の発展と科学技術全般を総合的に支える製造技術	76	20 (23)	26
11	科学技術の進展によりマネジメント強化すべき対象全般	59	27 (33)	46
12	生活基盤・産業基盤を支えるインフラ技術群	55	40 (61)	73
計		837	412 (607)	49

＊マッチング割合の高いものを濃色、低いものを淡色で示した

b. マッチング領域数別の課題数

	マッチング領域数							
分科会	該当なし	1領域	2領域	3領域	4領域	5領域	6領域	総計
1	46	19	4	2				71
2	21	24	18	11	2	1	1	78
3	39	23			1			63
4	62	17	6					85
5	45	19	3					67
6	28	25	14	3	2			72
7	17	26	16	1				60
8	18	31	14	3	2			68
9	46	23	10	2	2			83
10	56	18	1	1				76
11	32	21	6					59
12	15	27	7	4	2			55
総計	425	273	99	27	11	1	1	837

科学技術系ナンバー分科会から出された課題は、どれも重要なものと考えられるが、ここではマッチングできたものを中心として議論を進めることとし、次の第2節ではマッチングの様子についてさらに詳細に分析する。

第2節　マッチングの詳細分析

1. マッチング状態

各重要領域と科学技術系ナンバー分科会ごとの科学技術課題のマッチング数(のべ数)の分布を図表 4-3 に示した。マッチングした課題の数が多いものほど、濃い色のブロックにして示している。これをみると、マッチングは満遍なく生じているのではなく、かなり疎密があることがわかる。

図表 4-3:　マッチングの状況(図中の数字はマッチングした課題数を示す)

目標	領域名	No.分科会 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	分科会計	課題計
安心	ディペンダブルな公共システムの構築	24	15		2		2	2	16	1	3	7	4	10	76
	システムの分かる化	1	2					1					1	4	5
	質の高い健康の確保	2	7	3	9					11		1	1	7	34
	高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現	1	16	2	2								1	5	22
	持続可能な生活の実現		2	19		7	12	8	4	7	5	2		9	66
	恒久平和の実現													0	0
安全	安全に関するデータ・知識の連携・統合・提供		8		1		1		2	2			5	6	19
	社会安全全体のシステムの構築	2		1	11	11						1		5	26
	個人個人の安全性確保		9								4		1	3	14
	安全の責任の分配(個人によるもの、国によるもの)		1											1	1
	安全文化・安全教育		2											1	2
	人工物(情報システム等を含む)の安全性の確保		4						1	3			10	4	18
	人の安全性	3	6				2				1		7	5	19
	環境、災害からの安全性		3				1		3	4	3	3	9	7	26
協調	未発見・未利用資源エネルギーの探査・開発・確保					7	7	25	7	4	3		3	7	56
	地球規模の人間活動のウォッチングと制御		4				33	8	9	10			10	6	74
	人類の生涯にわたる健康の実現		5	1	3			2	15	5			3	7	34
	日本発の科学技術の産業化		6											1	6
	教育機能の展開と活用											2		1	2
	国際的課題を解決するための方法論の開拓		2				1	7	5				1	5	16
競争	国際的に通用するインテリジェンスとタフネス							1			2	6		3	9
	認識の共有		16						2			3		3	21
	日本的センスに基づく方法論の提示							1	3			3	1	4	8
	将来需要発掘のための贈与型技術移		4	1	1		11	6	9	10	2	5	4	10	53

＊　分科会計:対応する課題がある分科会の数

＊　課題計:対応する課題の総数

＊色の濃さはマッチング数の多さに対応　(>30 もっとも濃い、20-29 濃い、10-19 やや濃い、1-9 薄い)

2. 重要領域と関係付けられる科学技術課題

図表 4-3 を横軸に沿ってみたものが、図表 4-1 の模式図において点線で囲った各領域に相当する。同じ領域に含まれる科学技術課題群には重複する課題も一部はあるが、基本的には従来は全く違った分野で考えられてきたものである。しかし、これらは将来社会に対して類似目標を設定しうる。つまり、これらについては、既存分野の概念を越えて、ひとつの大きな目標を目指していく新しい枠組みを考えうる。逆に言えば、これらの科学技術課題群は、ひとつの大きな目標を達成する、あるいは目標に近づくための必要条件である可能性が高く、一群として検討するに値する。

例えば、「ディペンダブルな公共システムの構築」「持続可能な生活の実現」あるいは「将来需要発掘の

ための贈与型技術移転」のような重要領域は 9～10 の分科会にマッチングする課題があり、このような社会の目標に全体として近づくためには、科学技術の既存分野とは別の枠組みを必要とする。このような場合、類似の研究開発を行っている研究者・技術者と議論しても解が得られる可能性は低く、むしろ別の分野と手を携えて、同じような問題を解決しながら進んでいくべきであろう。

しかし、これらの科学技術課題群が目標を達成する、あるいは目標に近づくための十分条件であるか、という点については、さらなる議論が必要である。図表 4-3 を数量的にみると、重要領域とマッチングすることができた分科会数にも科学技術課題数にも、相当のばらつきがある。将来社会の求める科学技術課題が十分に拾えているかについては再考の余地もあるだろう。また、重要領域を考えた場合に、挙げられている課題がはたして目標到達という意味で最重要な課題であるかについても、より広い参加者からの意見収集が必要であろう。

3. 科学技術課題と関係が薄いとされた重要領域

図表 4-4 には、科学技術課題とのマッチングに適当なものがほとんど見当たらなかった重要領域を示した。以下では、マッチングが 0～1 課題と 2～9 課題であったものを採り上げて議論する。

図表 4-4: マッチングするものが少なかった重要領域

目標	領域名	No.分科会 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
安心	ディペンダブルな公共システムの構築	24	15		2		2	2	16	1	3	7	4	76
	システムの分かる化	1	2					1					1	5
	質の高い健康の確保	2	7	3	9					11		1	1	34
	高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現	1	16	2	2								1	22
	持続可能な生活の実現		2	19		7	12	8	4	7	5	2		66
	恒久平和の実現													0
安全	安全に関するデータ・知識の連携・統合・提供		8		1		1		2	2			5	19
	社会安全全体のシステムの構築	2		1	11	11						1		26
	個人個人の安全性確保		9								4		1	14
	安全の責任の分配（個人によるもの、国によるもの）		1											1
	安全文化・安全教育		2											2
	人工物（情報システム等を含む）の安全性の確保		4						1	3			10	18
	人の安全性	3	6				2				1		7	19
	環境、災害からの安全性		3				1		3	4	3	3	9	26
協調	未発見・未利用資源エネルギーの探査・開発・確保					7	7	25	7	4	3		3	56
	地球規模の人間活動のウォッチングと制御		4				33	8	9	10			10	74
	人類の生涯にわたる健康の実現		5	1	3			2	15	5			3	34
	日本発の科学技術の産業化		6											6
	教育機能の展開と活用											2		2
	国際的課題を解決するための方法論の開拓		2				1	7	5				1	16
競争	国際的に通用するインテリジェンスとタフネス							1			2	6		9
	認識の共有		16						2			3		21
	日本的センスに基づく方法論の提示							1	3			3	1	8
	将来需要発掘のための贈与型技術移		4	1	1		11	6	9	10	2	5	4	53

＊マッチングを示した科学技術課題の数が 10 未満のものを点線で囲った

＜0～1 課題しかマッチングができなかった領域＞

- 恒久平和の実現（安心）
- 安全の責任の分配（安全）
- 安全文化・安全教育（安全）
- 教育機能の展開と活用（協調）

これらの重要領域は、これまでは科学技術の発展による貢献が期待されていなかった領域とも考えられる。しかし、科学技術を念頭にした目標別分科会の議論において、将来的に重要な領域として抽出されたわけであるから、将来社会にとっては極めて必要性の高い領域であるとみなされる。このような社会からの要求については、科学技術の成果を用いてどのようなことが可能であるのかを、改めて検討しなおす必要があると考えられる。

＜2～9 課題のマッチングにとどまった領域＞

- システムの分かる化（安心）
- 日本発の科学技術の産業化（協調）
- 国際的に通用するインテリジェンスとタフネス（競争）
- 日本的センスに基づく方法論の提示（競争）

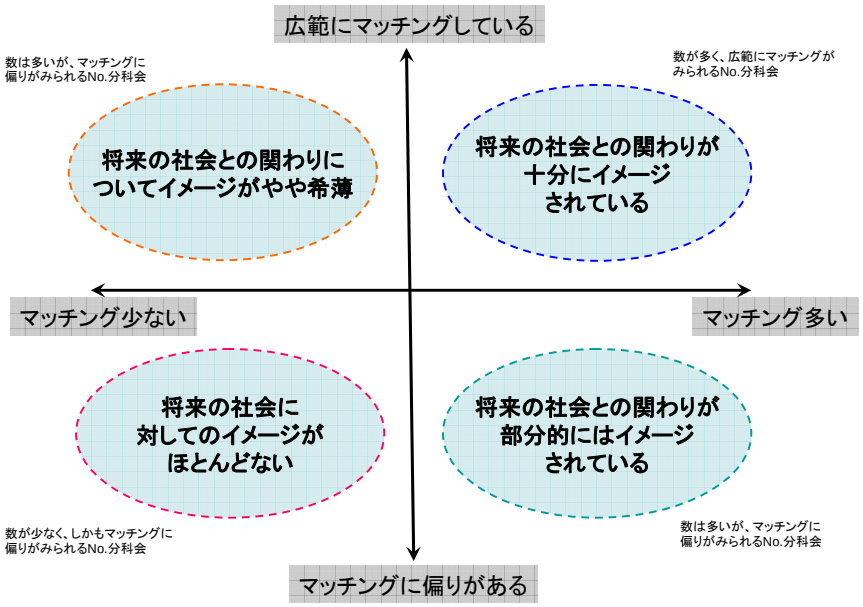
これらの重要領域は、目標別分科会でも特に重要視された話題であった。したがって、将来的に、科学技術の発展によるソリューションがありうるのか、あるとしたらそれはどういう科学技術の成果なのかについて、真剣に検討すべきと考えられる。大きな意識改革や科学技術システムの改革が必要と思われるが、これらの重要領域には、将来の科学技術において、新興・融合領域の生まれる余地が十分にあると考えられる。

4. マッチングから考えられる今後の推進策

重要領域と科学技術課題のマッチングは、各研究開発分野の今後の推進策を考えるうえでも大きな示唆を与えうる。

ここでは、マッチングの状態を図表 4-5 のような 2 軸で分析することを試みた。図表 4-5 では、横軸を「マッチングの多い⇔少ない」、縦軸を「重要領域に広範にマッチングしている⇔マッチングに偏りがある」と置いている。

図表 4-5: マッチングから見えるNo分科会の傾向 （4種類に分けられる）



図表 4-5 の第 1 象限から第 4 象限は、それぞれ次の通りに表すことができる。

① 第1象限（マッチング数が多く、広範にマッチングがみられる）
　　将来の社会との関わりが十分にイメージされている
② 第2象限（マッチング数が少ないが、広範にマッチングがみられる）
　　将来の社会との関わりについてのイメージがやや希薄である
③ 第3象限（マッチング数が少なく、マッチングの偏りがある）
　　将来の社会に対してのイメージがほとんどない
④ 第4象限（マッチング数が多いが、マッチングの偏りがある）
　　将来の社会との関わりが部分的にはイメージされている

このような分類を基にして、以下に各象限の推進策について検討する。

① 将来の社会との関わりが十分にイメージされている分野

マッチング数が多く、広範にマッチングがみられた科学技術系ナンバー分科会を抽出し、図表 4-6 に示した。

図表 4-6： マッチング数が多く、広範にマッチングがみられる科学技術系ナンバー分科会

目標	領域名	No.分科会 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
安心	ディペンダブルな公共システムの構築	24	15		2		2	2	16	1	3	7	4
	システムの分かる化	1	2					1					1
	質の高い健康の確保	2	7	3	9					11		1	1
	高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現	1	16	2	2								1
	持続可能な生活の実現		2	19		7	12	8	4	7	5	2	
	恒久平和の実現												
安全	安全に関するデータ・知識の連携・統合・提供		8		1		1		2	2			5
	社会安全全体のシステムの構築	2		1	11	11						1	
	個人個人の安全性確保		9								4		1
	安全の責任の分配（個人によるもの、国によるもの）		1										
	安全文化・安全教育		2										
	人工物（情報システム等を含む）の安全性の確保		4						1	3			10
	人の安全性	3	6				2				1		7
	環境、災害からの安全性		3				1		3	4	3	3	9
協調	未発見・未利用資源エネルギーの探査・開発・確保					7	7	25	7	4	3		3
	地球規模の人間活動のウォッチングと制御		4				33	8	9	10			10
	人類の生涯にわたる健康の実現		5	1	3			2	15	5			3
	日本発の科学技術の産業化		6										
	教育機能の展開と活用											2	
	国際的課題を解決するための方法論の開拓		2				1	7	5				1
競争	国際的に通用するインテリジェンスとタフネス							1			2	6	
	認識の共有		16						2			3	
	日本的センスに基づく方法論の提示							1	3			3	1
	将来需要発掘のための贈与型技術移		4	1	1		11	6	9	10	2	5	4

＊点線は広範にマッチングしていることを示す

○将来の社会との関わりが十分にイメージされている分科会

- No.2 情報処理技術をメディアやコンテンツまで拡大して議論
- No.8 環境を保全し持続可能な循環型社会を形成する技術
- No.9 物質、材料、ナノシステム、加工、計測などの基盤技術
- No.12 生活基盤・産業基盤を支えるインフラ技術群

これらは、社会インフラに関連する科学技術であると考えられる。既にインフラ技術である IT 技術や既存のインフラ技術だけでなく、 環境および物質材料の分野も、将来的には「社会インフラを支える基盤型の科学技術分野」となると認識されている。これらの分野の科学技術は、社会の期待に十分応えられるかを意識し、そのような視点からの評価を行いつつ、研究開発を推進していくことが求められる。

② 将来の社会との関わりについてイメージがやや希薄である分野

マッチング数が少ないが、広範にマッチングがみられた科学技術系ナンバー分科会を抽出し、図表 4-7 に示した。

図表 4-7: マッチング数は少ないが広範にマッチングがみられる科学技術系ナンバー分科会

目標	領域名	No.分科会 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
安心	ディペンダブルな公共システムの構築	24	15		2		2	2	16	1	3	7	4
	システムの分かる化	1	2					1					1
	質の高い健康の確保	2	7	3	9					11		1	1
	高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現	1	16	2	2								1
	持続可能な生活の実現 恒久平和の実現		2	19		7	12	8	4	7	5	2	
安全	安全に関するデータ・知識の連携・統合・提供		8		1		1		2	2			5
	社会安全全体のシステムの構築	2		1	11	11						1	
	個人個人の安全性確保		9								4		1
	安全の責任の分配（個人によるもの、国によるもの）		1										
	安全文化・安全教育		2										
	人工物（情報システム等を含む）の安全性の確保		4						1	3			10
	人の安全性	3	6				2				1		7
	環境、災害からの安全性		3				1		3	4	3	3	9
協調	未発見・未利用資源エネルギーの探査・開発・確保					7	7	25	7	4	3		3
	地球規模の人間活動のウォッチングと制御		4				33	8	9	10			10
	人類の生涯にわたる健康の実現		5	1	3			2	15	5			3
	日本発の科学技術の産業化		6										
	教育機能の展開と活用											2	
	国際的課題を解決するための方法論の開拓		2				1	7	5				1
競争	国際的に通用するインテリジェンスとタフネス							1			2	6	
	認識の共有		16						2			3	
	日本的センスに基づく方法論の提示							1	3			3	1
	将来需要発掘のための贈与型技術移		4	1	1		11	6	9	10	2	5	4

＊点線は広範にマッチングしていることを示す

○将来の社会に対するイメージがやや希薄であった分科会

- No.10 産業・社会の発展と科学技術全般を総合的に支える製造技術
- No.11 科学技術の進展によりマネジメント強化すべき対象全般

これらは、本来的に社会との関わりが強いはずの分科会であるにも関らず、目標別分科会の議論とうまくかみ合っていないことが示された。課題を推進するに先立って、まず、社会における問題への意識を高め、将来イメージをクリアにすることが必要と考えられる。

③ 将来の社会に対してのイメージがほとんどない分野

マッチング数は少なく、マッチングに偏りがみられた科学技術系ナンバー分科会を抽出し、図表 4-8 に示した。

図表 4-8: マッチング数が少なく、マッチングに偏りがみられる科学技術系ナンバー分科会

目標	領域名	No.分科会 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
安心	ディペンダブルな公共システムの構築	24	15		2		2	2	16	1	3	7	4
	システムの分かる化	1	2					1					1
	質の高い健康の確保	2	7	3	9					11		1	1
	高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現	1	16	2	2								1
	持続可能な生活の実現		2	19		7	12	8	4	7	5	2	
	恒久平和の実現												
安全	安全に関するデータ・知識の連携・統合・提供		8		1		1		2	2			5
	社会安全全体のシステムの構築	2		1	11	11						1	
	個人個人の安全性確保		9								4		1
	安全の責任の分配(個人によるもの、国によるもの)		1										
	安全文化・安全教育		2										
	人工物(情報システム等を含む)の安全性の確保		4						1	3			10
	人の安全性	3	6				2				1		7
	環境、災害からの安全性		3				1		3	4	3	3	9
協調	未発見・未利用資源エネルギーの探査・開発・確保					7	7	25	7	4	3		3
	地球規模の人間活動のウォッチングと制御		4				33	8	9	10			10
	人類の生涯にわたる健康の実現		5	1	3			2	15	5			3
	日本発の科学技術の産業化		6										
	教育機能の展開と活用											2	
	国際的課題を解決するための方法論の開拓		2				1	7	5				1
競争	国際的に通用するインテリジェンスとタフネス							1			2	6	
	認識の共有		16						2			3	
	日本的センスに基づく方法論の提示							1	3			3	1
	将来需要発掘のための贈与型技術移		4	1	1		11	6	9	10	2	5	4

＊点線はマッチングの偏りを示す

○将来の社会へのイメージがほとんど議論されなかった分科会

- No.3 バイオとナノテクノロジーを人類貢献へ繋げる
  →特に、「安全」、「協調」、「競争」の項目とのマッチングがほとんどない
- No.4 IT などを駆使して医療技術を国民の健康な生活へ繋げる
  →特に、「協調」、「競争」の項目とのマッチングが少ない
- No.5 宇宙・地球・生命のダイナミズムを理解し、人類の活動領域を拡大する科学技術
  →特に、「競争」の項目とのマッチングがない

これらの分科会に関連する分野において、将来、社会的に重要なイノベーションを起こすためには、他の分野以上に、これらの分野の構成員(産学官の研究者など)の意識改革が必要であると考えられる。特に、世界に対する意識をより高めていくことが必要と考えられる。このような分科会は、他の分科会以上に、科学技術システム改革が大きく効果を発揮する可能性もある。

④ 将来の社会との関わりが部分的にイメージされている分野

マッチング数は多いが、マッチングに偏りがみられた科学技術系ナンバー分科会を抽出し、図表 4-9 に示した。

図表 4-9: 数は多いが、マッチングに偏りがみられる科学技術系ナンバー分科会

目標	領域名	No.分科会 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
安心	ディペンダブルな公共システムの構築	24	15		2		2	2	16	1	3	7	4
	システムの分かる化	1	2					1					1
	質の高い健康の確保	2	7	3	9					11		1	1
	高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現	1	16	2	2								1
	持続可能な生活の実現		2	19		7	12	8	4	7	5	2	
	恒久平和の実現												
安全	安全に関するデータ・知識の連携・統合・提供		8		1		1		2	2			5
	社会安全全体のシステムの構築	2		1	11	11						1	
	個人個人の安全性確保		9								4		1
	安全の責任の分配(個人によるもの、国によるもの)		1										
	安全文化・安全教育		2										
	人工物(情報システム等を含む)の安全性の確保		4						1	3			10
	人の安全性	3	6				2				1		7
	環境、災害からの安全性		3				1		3	4	3	3	9
協調	未発見・未利用資源エネルギーの探査・開発・確保					7	7	25	7	4	3		3
	地球規模の人間活動のウォッチングと制御		4				33	8	9	10			10
	人類の生涯にわたる健康の実現		5	1	3			2	15	5			3
	日本発の科学技術の産業化		6										
	教育機能の展開と活用											2	
	国際的課題を解決するための方法論の開拓		2				1	7	5				1
競争	国際的に通用するインテリジェンスとタフネス							1			2	6	
	認識の共有		16						2			3	
	日本的センスに基づく方法論の提示							1	3			3	1
	将来需要発掘のための贈与型技術移		4	1	1		11	6	9	10	2	5	4

＊点線はマッチングの偏りを示す

○将来の社会との関わりが部分的にはイメージされている分科会

- No.1 ユビキタス社会に、電子・通信・ナノテクノロジーを生かす
  →ただし、「協調」、「競争」の項目とのマッチングがない
- No.6 多彩なエネルギー技術変革を起こす
  →ただし、「安全」の項目とのマッチングが少ない
- No.7 水・食料・鉱物などあらゆる種類の必要資源を扱う
  →ただし、「安全」の項目とのマッチングがない

より広い意味での社会との関わりを考え、既存概念を超えた分野融合や新興分野の創生による推進が必要であると考えられる。

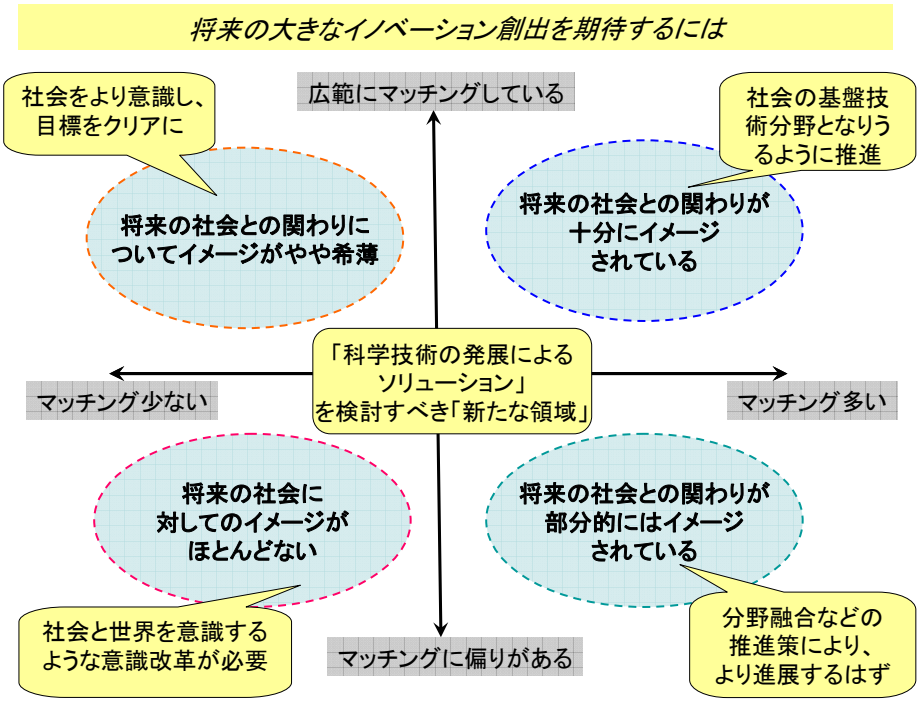
5. より大きなイノベーションを創出するために

今後の社会との関連性を考え、より大きなイノベーション創出を期待するためには、それぞれのカテゴリーにおいて、図表 4-10 で示したような推進が有効であろうと考えられる。

将来社会との関わりについて、

- ○ 十分にイメージされている分野 → 「社会の基盤技術」となるように推進。
- ○ 部分的にはイメージされている分野 →社会との関わりを広く考慮し、分野融合などにより推進。
- ○ イメージが希薄な分野 → 社会をより意識し、明確な目標を持って推進。
- ○ イメージがほとんどない分野 → 意識改革により将来および世界に対する意識を高めて推進。

図表 4-10: 関連付けから得られた示唆のまとめ



本稿では以上の分析によって分科会結果を見直すことはしていないが、今後、本稿の分科会結果を活用する際には、以上の分析結果も参考に過不足や新規課題発掘なども考えていくことが望ましい。

＜参考＞ 重要領域別対応科学技術課題一覧

1. 安心分科会

■重要領域 1:ディペンダブルな公共システムの構築

分科会	番号	科学技術課題
1	2	ネットワークで接続されるコンピュータシステムが、ネットワーク管理者を必要とせずに、システム内部や外部の動作状況と環境状態に動的に適応し、所望のサービスを高信頼に提供できるシステム
1	3	実行環境(OS、利用可能な機器と能力、ネットワーク環境等)に自動的に適応し、所望のサービスを実現するソフトウェアを最適な方法で提供できるポータビリティ技術
1	4	高度情報化社会が必要とする飛躍的な計算能力を実現するスーパーコンピューティング技術
1	9	高度情報化社会において飛躍的に増大するユーザからのリクエストサービスを、画期的に低消費電力かつ高スループットで提供可能な広域分散処理技術と仮想化技術
1	10	ユーザに直感的でわかり易いエレクトロニクスシステムの信頼性指標とその信頼性評価技術の確立
1	12	様々なアルゴリズムに適用可能な汎用性のある量子コンピューティング
1	13	セキュアな情報化世界を実現する実用的な量子暗号の確立
1	19	複数の無線情報端末同士が相互に直接接続され、マルチホップで情報伝達を行なう通信技術が実用化される
1	20	多種多様な通信方式の差異を隠蔽し、利用者にアクセス方式を意識させないで利用可能なシームレス通信が可能になる。これにより家庭内で放送、通信、家電機器間のシームレスな情報流通や、屋外で車／車間、車／センター間の交通の情報流通が可能になる
1	21	発信者の位置や周囲の情報・状況が瞬時に伝えられ、その人にあったサービスの提供が可能になる
1	22	多数のセンサが生活空間に配置され、実用的なセキュリティを保証しながら、情報をリアルタイムに伝送し、人の活動を強力に支援するセンサネットワークが可能になる
1	23	地域住民通信ネットワークが配備されることで、画像センサ(カメラ)からの地域映像情報が住民に提供され、弱者(高齢者、子供、女性)見守り支援、不審者発見などのサービスが可能になる
1	25	電波による盗聴・盗撮の検出、電波干渉の回避、無線通信のセキュリティ担保が可能になり、無線通信が安心して使えるようになる
1	26	無線帯域を有効に活用する技術(未使用帯域の検出、帯域アグリゲーション、干渉回避、通信方式の決定などの自動化・自律化コグニティブ無線が実用化される
1	27	利用端末や接続方式に関わらず、限られたメンバ同士を必要に応じて動的に接続するネットワークの構築・運用技術
1	28	多数の移動する無線ネットワーク(バス、電車、新幹線、飛行機、船等)を管理するネットワーク制御、運用技術が可能になる
1	30	所有者の声を認識し、体験を記憶し、必要な時に音声メモを再生するポータブルアシストデバイス
1	36	転倒したり忘れ物をしたりした時の状況を記録し、類似した状況の時に注意を促したり、逆に喜んだりした時の状況を記録し、類似した状況に近い場所に外出を促すアシストネットワークロボット
1	39	メディア・言語を横断して検索を行うシステム
1	43	日常生活における健康増進を支援するユビキタスコンピューティング技術
1	63	目的地を入力すると自動運転で目的地に到達できるシステム
1	64	車ー車間通信システムを活用した出会い頭などの事故を確実に防止できるシステム(車両、インフラ両方含めて)
1	66	自動車内に各種センサが配備され、故障を予知し、事故をおこさないシステム
1	67	人の生活、行動を支援するロボット(介護:食事介助、入浴介助、排泄介助、家事:掃除、洗濯、炊事、買い物、ゴミ捨て、生ゴミ粉砕等)が社会に普及する
2	1	1 億台以上のコンピュータを適時・有機的に結合し不特定のユーザに不特定のサービスを提供する系において、サービス遅延やデータ欠損などを起こすことなく、常に安定して多様なユーザリクエストに応え、安定したサービスを提供できるようにするためのシステムを半自動的に効率的に構築するための技術・手法が広く利用されている
2	2	1 億台以上のコンピュータを適時・有機的に結合する巨大な系において、実現されている機能サービスやそこに介在するデータ群から、新たな付加価値を持つ情報を生み出し、それらをもとに新たな機能サービスの創出につなげていく自律的サービス進化型システムが、社会生活の様々な局面で利用されるようになっている
2	4	個人情報が安全に管理され、個人情報漏洩を恐れることなく、確実に保護しながら社会的公益性の高い情報の扱いが信頼された状況で行われる技術が確立する

分科会	番号	科学技術課題
2	6	すべての個人の日常行動が把握され、統計的に処理され、混雑、事故等を適切に検出し自動的に対策をとる社会システムが実現する
2	14	現在コンピュータないしそのネットワークに対して行えるような高速かつ低コストな検索等の情報処理を、現実世界に対しても容易に行えるインフラが日本国内で普及する
2	28	盗まれた情報や一度散ってしまった情報を追跡するため、情報の発生源において電子刻印されたコンテンツが伝達段階で抹消・改変されることのないよう維持される「情報トレーサビリティ」が制度化される
2	30	地球規模の未知の危機に対応するため、実時間データに基づき全地球的な気象・海洋・環境・生態系・伝染病・経済・人の動きなどを、トータルにシミュレーションして予測するシステム
2	34	バイオメトリクス認証の高度化により、パスポート不要で外国旅行ができるようになる
2	45	緊急マネジメントシステム：災害時に人やリソースの手配、連絡業務を含むマネジメント、各方面への通報、事後レポートの生成を行う．典型的なケースとして，大学センター試験日における積雪による電車の遅れ，大規模災害（火災，交通事故）を想定する
2	57	（社会構成員の社会基盤情報の理解と実行を保証する技術）社会構成員（子供，非専門家を含む）の理解能力に応じて，社会生活を送るために必要となる社会基盤情報（例えば，契約内容や取扱説明書）を適切な形で提供し，確実な理解と実行を可能にする技術
2	63	多様なハードウェアプラットフォーム上で１億行以上のコードが動作する超大規模システムに関して、その要求仕様を余すところなく抽出し、仕様間の矛盾を排除し、適切に表現・検証するための仕様化技術が一般的に利用されるようになっている
2	64	1億行以上のコードが動作する超大規模システムの設計・実装作業を自動化することで、システム障害を引き起こす不具合要素を除去し、運用段階での不具合率を 5%以下におさえ意図したとおりの動作を実現するための大規模複雑システム向けの設計・実装技術が確立している
2	65	超大規模複雑システムにより構成される社会インフラシステムの運用段階において、システム障害発生の 12 時間前までに、システム障害の発生を予測し、システム側の自律的な判断によって障害発生を防ぐメカニズムやシステム縮退をはじめとする障害発生への対処メカニズムを実現しシステム障害を未然に防止できる
2	72	全世界的な経済活動と地域ごとに動いている経済活動（あるいは学校）など広範囲とローカルな両面の要因を持つ人の流動と，それぞれの地域ごとの気温や湿度・風向きなどの環境要因と，感染症の発生など人が持っている生理学的な仕組みとをあわせて感染症の発生と伝搬を予測する技術が使われるようになる
2	73	予測市場やその他の集合知メカニズムが、企業や政府を初めとする社会一般で幅広く活用されるようになり、経済や社会等についての予測、政治や企業経営等の意思決定、感染症やテロ等のさまざまなリスク情報の発見がより適切にかつ効率よく行えるようになる
4	67	治験の総合的管理・推進を支援する知的情報管理システムの確立
4	68	倫理に基づいた、遺伝子および多形性に関する情報の管理技術の確立
6	38	高品質電力供給システム
6	71	エネルギー需給双方に影響を及ぼす消費者心理、セキュリティ、リスク、政策効果等が分析出来るエネルギーシステムの社会経済モデル・ツールの開発
7	56	資源開発における環境負荷評価と地域社会合意形成の方法論
7	57	資源開発における利益配分に対する地域合意形成の方法論
8	1	環境リスクマネジメントの概念が社会に浸透し、関係者のリスクコミュニケーション技術が飛躍的に向上する
8	3	化学物質リスクの迅速評価の技術と制度が充実し、新規物質審査や既存物質点検が数ヶ月で可能となる
8	4	気候変動や人為活動の拡大による生態系の機能低下に対するリスクを評価し将来を予測する技術が開発される
8	7	各地域や各事業所におけるリアルタイムでのリスク評価技術が開発され、公表される
8	11	ライフサイクルアセスメント（LCA）およびライフサイクル費用評価（LCC）の規格が普及し、客観的・定量的手法として社会的に認知される算出方法が標準化され、誰でも同じ解を簡単に導き出せるようになる
8	12	都市や農村などにおける地域的な環境問題を解決するために、環境負荷を最小化するような環境アセスメント手法に基づいた合意形成システムが構築される
8	18	環境リスク評価やアセットマネジメントなどにおいて、環境にかかわるデータベース・知識ベース等の知識情報基盤を活用した多様な利害関係者による協調的意志決定システムが構築される

分科会	番号	科学技術課題
8	19	国際的な問題に対して、多様な科学的知見や主張・価値判断を整理・分析して表示することにより、問題の全体像把握を可能にし、関係国の合理的な政治判断を支援する技術が開発される
8	22	環境指標の劣化を誘引する社会経済的要因の評価技術が開発される
8	23	将来社会予測技術が進歩し、政策と科学のコミュニケーションが進むことで国際合意がなされ、途上国を含めた温室効果ガス半減の具体的な計画がなされる
8	24	地域・地方スケールの大気環境予測シミュレーションが進み、黄砂や光化学スモッグなどの大気汚染を天気図のように示す予報が普及する
8	25	大気・海洋・陸域各圏と生態系を含む物質循環を同時に扱うことができる地球システムモデルによる数十年規模の地球環境変動予測が可能になる
8	26	生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展によって伝染病や災害の予測が可能となる
8	27	衛星から地上の広域大気汚染物質（オキシダント、NOx、VOC など）を観測するセンサーシステムが開発される
8	32	衛星観測と地上観測の効果的な統融合により、流域単位での表流水・地下水循環が予測される技術が開発される
8	68	リスクトレードオフの評価手法（例：風力発電の希少猛禽類衝突死リスク管理など）が確立、その考え方を大多数の人が受け入れ、納得のいく公正な意思決定ができるようになる
9	68	次世代スーパーコンピュータ，グリッドコンピューティングなど革新的ハードウェアで初めて可能となる大規模材料計算技術
10	28	様々な設計方法論における枠組みやシナリオに対応しながらその具体化の過程を支援できる数理的なモデリングの枠組みをそれに呼応する最適化計算アルゴリズム．これについては，システムレベルの最適設計に軸足を置くこと，大規模で複雑な組合せ的要素を含むシステムについての設計を最適化できる実践的な枠組みを目指すことなどが重要であると考えられる
10	30	企画や概念設計などの設計対象の内容が具体的には詳細化されていない段階にあっても，対象となるシステムがどのような振舞いや機能を実現・達成し得るかを粗くしかし的確に予測するためのシミュレーション技術．十分な情報のもとで厳格で定量的な結果を導出するのではなく，曖昧な情報のもとでも要点を押さえた有用な結果を定性的に導出するための技術．例えば，いわゆる FOA（First Order Analysis）関連技術はこの方面を意図した典型的な動向であり，また，ライフサイクル関連での設計技術もそのようなものの先駆的具体例として位置付けることもできる
10	59	サプライチェーン管理，生産計画，スケジューリングにおいて，対象の状況に応じてシステム自身が自己の改良を行い，フレキシブルに状況変化に対応できる，自己修正メカニズムを有する生産管理システム
11	1	実験経済学等の研究により、個人の心理、意識の分析がなされ、意思決定を予測できるようになり、これが企業組織、市場等の制度設計及び企業の製品開発、技術開発に用いられるようになる
11	3	新聞・論説記事間の関係を可視化し、社会問題を構造を明示することにより、政策立案を支援する手法を一般に利用可能とする
11	9	設計、開発、製造、運用、保守、廃棄などの生産活動を支援（最適化・効率化・許認可申請など）する高度なバーチャルマニュファクチャリングシステムと運用システム
11	10	研究開発・設計の期間短縮、製品競争力強化を狙いとして、強度、性能、信頼性、環境性、生産性など製品評価項目の全てを評価できるデジタルモックアップ技術
11	12	売上額の 1/2 が海外で発生するようなグローバル化した日本の大企業では、新たな協働システムが構築され、その中枢を担う管理職、専門職の 1/3 以上に外国人労働者を採用するようになる
11	21	我が国の公共部門、企業部門の組織において必要とされるシステムについて要件定義を明確に行う方法が確立し、IT投資管理が効果的に行われるようになり、必要なIT環境を迅速に実現できるようになる
11	33	高齢者、身体障害者が情報ネットワークに参加しやすい情報端末機器及びソフトが広く普及する
12	21	地震や火山、洪水等の自然現象、あるいは人為的事故に伴う災害リスクポテンシャルを住民が認識、理解し、行政と協力して減災策を構築できるシステム
12	40	衛星通信技術等により、災害発生時にも遮断されず、輻輳も起さずに、平常時と同じようにテレビ並みの動画通信を可能とする無線通信システムが日本全土を網羅する
12	41	インターモーダル輸送において、物資や商品の温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、輸送や保管の履歴を、記録・検査・照合することにより、資源の効率的なリサイクルも含めて、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレーサビリティ技術が実用化される

分科会	番号	科学技術課題
12	43	自動車内に各種センサが配備されることによって、一般道における追突事故や出会いがしらの衝突事故などを未然に防ぐとともに、エンジンやタイヤなど故障の予知が可能となり、安全かつ円滑に走行できる運転システムが実用化される

■重要領域 2:システムの分かる化

分科会	番号	科学技術課題
1	10	ユーザに直感的でわかり易いエレクトロニクスシステムの信頼性指標とその信頼性評価技術の確立
2	6	すべての個人の日常行動が把握され、統計的に処理され、混雑、事故等を適切に検出し自動的に対策をとる社会システムが実現する
2	28	盗まれた情報や一度散ってしまった情報を追跡するため、情報の発生源において電子刻印されたコンテンツが伝達段階で抹消・改変されることのないよう維持される「情報トレーサビリティ」が制度化される
7	14	リモートセンシングやネットワークを活用した農林水産資源のモニタリングシステムの開発
12	43	自動車内に各種センサが配備されることによって、一般道における追突事故や出会いがしらの衝突事故などを未然に防ぐとともに、エンジンやタイヤなど故障の予知が可能となり、安全かつ円滑に走行できる運転システムが実用化される

■重要領域 3:質の高い健康の確保

分科会	番号	科学技術課題
1	43	日常生活における健康増進を支援するユビキタスコンピューティング技術
1	67	人の生活、行動を支援するロボット(介護:食事介助、入浴介助、排泄介助、家事:掃除、洗濯、炊事、買い物、ゴミ捨て、生ゴミ粉砕等)が社会に普及する
2	5	個人の生活、健康状態、労働状況等を個人ごとに常時総合的に把握し日常行動に適切なアドバイスをするシステムが広く受け入れられる
2	18	遠隔にいる高齢者や障害者に対し、遠隔操作により生活援助や介護を安全に行うことができるロボットハンドや走行ロボットが実現できる。安全に介護するために、ロボットには遠隔地からでは気がつかない危険を回避するなどの自律性や予測能力も持ち合わせる
2	19	遠隔地にいながら直接患者と向き合っているように、患者に優しく聴診器をあてたり、触診したり、口臭などを感じたりできるようになる
2	27	ヒトのアンチエイジングのために体内や体外に高度医療電子情報システムが使用され、その効果により平均寿命が 2010 年値よりも 10 年長くなる
2	31	遠隔にいる高齢者や障害者に対し、遠隔操作により生活援助や介護を安全に行うことができるロボットハンドや走行ロボットが実現できる。安全に介護するために、ロボットには遠隔地からでは気がつかない危険を回避するなどの自律性や予測能力も持ち合わせる
2	32	物理的(機械的)な介護支援機能に加え、多様な情報サービスをユーザに提供する生活支援型ロボット。また、被介護者がしてほしいことをそのしぐさなどから察知して、気の利いたメッセージを提供したりすることができる
2	44	(生命維持装置)生命にかかわる重篤な事態の発生の兆候を示す身体の異変を検知し，本人・周囲に知らせるとともに緊急措置を行う．乳幼児，妊婦，過酷なスポーツ，老人一般など生命を脅かす原因が特定されておらず，広範な原因があり得る場合を想定する
3	44	生活習慣病予防を目的とする機能性食品の活用の一般化と、個人のためのテーラーメード機能性食品の開発技術
3	45	将来の罹患の危険性を低減する予防食品の摂取が一般化する
3	48	生活習慣病の予防が可能となる、個人の体質に応じた機能性食品
4	27	精神的ストレスの定量化技術
4	66	地域格差を是正できる迅速対応可能な地域医療制度の整備
4	67	治験の総合的管理・推進を支援する知的情報管理システムの確立
4	70	安全，安心な医療への対価を保証する診療報酬制度の確立
4	72	医療の質と資源の至適マネッジメントを可能にする医療社会制度モデルの確立
4	78	医療と介護のシームレスな連携に基づいた地域医療提供システムの構築
4	81	生活習慣病及び高齢化に対する予防・対応のための家庭医学教育システムの整備
4	83	医療従事者への医哲学教育制度の確立
4	84	医療従事者のためのシミュレーション医学教育法の確立

分科会	番号	科学技術課題
9	9	人骨とほぼ同等の機能を有する生体用コンポジット材料
9	25	抗凝固剤の不要な抗血栓性人工弁・血管の臨床化
9	31	生体エネルギーで半永久的に動き続ける体内埋め込み健康管理デバイス
9	38	機能性スキャホールドによる、再生型人工血管の実用化
9	39	すべての薬物の経口投与を可能にする製剤技術
9	40	動物由来組織に脱細胞などの処理を施した移植用組織の国内臨床化（皮膚・血管・弁・神経など）
9	41	人工角膜材料の産業化
9	42	ほ乳類受精卵を孵化させるための人工システム（人工胎盤）の実現
9	43	幹細胞の分化誘導を精密に制御できる人工ニッチ材料（基材）の開発
9	79	ドラッグデリバリーシステム（DDS）のカプセル材料や投与量についての安全基準の策定
9	80	化粧品、食品などの消費財に関するナノ粒子使用の安全基準の策定
11	17	我が国において、カルテは動画を含み電子化され、患者個人の管理になり、検査その他の情報は全医療機関で共用され、それを元に患者と医療機関との間に健康管理エージェント業が成立する
12	17	中山間地などの交通不便地域などに居住する高齢者や生活習慣病患者の生活を支援維持するために、IT技術を利用した遠隔診療システムや健康管理システムが確立し、通院しなくても必要な医薬品や療養食が補給される物流サービスが始まる

■重要領域 4：高齢者の自立のためのエージフリー社会の実現

分科会	番号	科学技術課題
1	36	転倒したり忘れ物をしたりした時の状況を記録し、類似した状況の時に注意を促したり、逆に喜んだりした時の状況を記録し、類似した状況に近い場所に外出を促すアシストネットワークロボット
2	10	自分の目や耳で得た情報を直接他人の脳に伝達することにより、視覚、聴覚の補助ができる
2	11	目や耳を介さずに、人と人との意思疎通ができたり、自分の脳で考えている内容を他人の脳に伝達することができる
2	15	外部のコンピュータやそのネットワーク、それらに接続された各種センサ・周辺機器等の全体を、人間が自らの脳や感覚器官、身体の延長として自然に使いこなせる技術が確立する
2	18	遠隔にいる高齢者や障害者に対し、遠隔操作により生活援助や介護を安全に行うことができるロボットハンドや走行ロボットが実現できる。安全に介護するために、ロボットには遠隔地からでは気がつかない危険を回避するなどの自律性や予測能力も持ち合わせる
2	19	遠隔地にいながら直接患者と向き合っているように、患者に優しく聴診器をあてたり、触診したり、口臭などを感じたりできるようになる
2	27	ヒトのアンチエイジングのために体内や体外に高度医療電子情報システムが使用され、その効果により平均寿命が 2010 年値よりも 10 年長くなる
2	31	遠隔にいる高齢者や障害者に対し、遠隔操作により生活援助や介護を安全に行うことができるロボットハンドや走行ロボットが実現できる。安全に介護するために、ロボットには遠隔地からでは気がつかない危険を回避するなどの自律性や予測能力も持ち合わせる
2	32	物理的（機械的）な介護支援機能に加え、多様な情報サービスをユーザに提供する生活支援型ロボット。また、被介護者がしてほしいことをそのしぐさなどから察知して、気の利いたメッセージを提供したりすることができる
2	44	（生命維持装置）生命にかかわる重篤な事態の発生の兆候を示す身体の異変を検知し，本人・周囲に知らせるとともに緊急措置を行う．乳幼児，妊婦，過酷なスポーツ，老人一般など生命を脅かす原因が特定されておらず，広範な原因があり得る場合を想定する
2	47	自動車の自動運転により、住所をセットするだけで日本国内の任意の住所間で人間と荷物を乗り換えなく自律搬送できるようになる
2	49	被介護者の建物敷地内での 72 時間の自立生活を保障するシステム
2	51	日本国内において、人の運転する車で、見通しの悪い地点等の視覚補助機能が必要なほとんどの地点に設置され、運転者を支援、介入することにより、交通事故が現在の十分の一となる
2	52	自動運転専用の道路が一般化し、自動運転が行われて道路の利用効率が現在の 3 倍に向上し、渋滞のほとんどない自動車交通が実現する
2	62	公共交通機関において、購入した乗車券の内容が駅構内等の支援手段に近接通信で伝達され、個人ごとに適切な案内、サービスが行われ、初めての人でも看板等を探すことなく、目的地に到達できる
2	75	遠隔コミュニケーションツールとしての遠隔操作型ヒューマノイドロボットが実用化され、傷病、年齢、心身障害等、さまざまな理由により社会に参加できない人が社会に参加できるようになる

分科会	番号	科学技術課題
2	76	ICT 活用により情報格差（ネット通販、高品質仮想現実システムによるコンサート・展覧会・会議・懇談・遠隔恋愛等）に関して、80％の過疎地住民が、首都圏住民と大きな差異を認識しなくなる
3	20	認知症およびパーキンソン病類縁疾患の発症を予測する技術の開発
3	25	アルツハイマー病やその他の変性性疾患の原因を分子レベルで解明し、これらの進行を阻止する技術
4	15	高齢者の脳機能の低下を抑制し、痴呆を防止するシステム
4	45	高齢者化社会対応を視野に入れた感覚機能を備えた義手・義足
12	19	加齢による動体視力低下等を考慮した公共空間における道路交通標識などの表示システム

■重要領域 5:持続可能な生活の実現

分科会	番号	科学技術課題
2	29	食品の大半をカバーする世界的トレイサビリティ・システム
2	59	RFID 等のタグ価格が数銭レベルとなり、食料品や日常品へのタグの付与が幅広く実現される
3	40	環境適応能力（耐塩性、耐乾性、耐寒性）の向上と成長をコントロールすることによる砂漠などでの作物生産・緑化技術の進歩
3	41	物質生産のための最小遺伝子セットからなる人工細胞の構築とそれを利用した有用物質生産の技術
3	42	農作業を完全自動化するロボット技術
3	46	アレルゲン計測技術に基づき、花粉症など免疫過敏症の症状を低減させる食品が実用化する
3	47	未利用の深海微生物の生理機能を利用した、食品や医薬品等の生産技術
3	49	高齢者に特有の、抗酸化機能・脳機能・咀嚼機能の低下を防ぎ、健康な高齢社会を食から支える食品と食事法
3	51	DNA チップや分光センサ等種々のセンサで生産現場から食卓まで食品を途切れることなくモニタリングし、有害物質の混入や細菌汚染等を防止するセンサネットワーク技術
3	52	エピジェネティクス等の核における遺伝情報リプログラミング機構の解明に基づく、家畜の体細胞クローン作出技術
3	53	植物における成長調節物質の生合成、輸送、受容体を介したシグナル伝達機構の解明に基づく、作物・林木の成長制御技術
3	54	時期および部位特異遺伝子発現などを利用し、人為的に導入した遺伝子の環境への拡散がない遺伝子組み替え植物
3	55	物質生産のための最小遺伝子セットをもった細胞形成技術
3	56	石油を原料としていた化学ポリマーの半分以上が、再生可能なバイオマス資源由来となる。
3	57	化学触媒に匹敵するあるいはそれ以上の生産性を示す生物触媒が発明される。
3	58	自然界に散布された有害物分解活性をもつ微生物の拡散を制御する技術が確立する。
3	59	化学エネルギーを力学エネルギーに変換する運動タンパク質（分子モーター）を利用した高効率のエネルギー変換技術
3	60	酸素反応系燃料電池をナノスケールで人工的に再構成する技術
3	61	地域農林業資源・有機性廃棄物などを利用する、ゼロエミッションを指向した低コスト農林業・農村の実現
3	62	化学合成農薬・肥料の利用を半減させる、生物学的な作物保護法（ファージ、プラントアクティベータ、天敵生物、フェロモン、アレロパシー等）
3	63	生育障害や病虫害の発生、鳥インフルエンザ等感染症による家畜の異常を早期に察知するため、圃場・畜舎・養殖池等の環境情報や生物情報をリアルタイムにモニタリングするセンサネットワーク
5	11	風、波、潮流等の海洋エネルギー利用技術の高度化
5	24	湧昇流を利用した生物資源増殖技術
5	34	CO_2を海中に溶解あるいは海底下に固定する技術
5	35	生物学系列の技術のほか多岐にわたる工学技術を導入して最適な環境管理が行われる海洋牧場
5	44	深海や地中の資源探査や環境調査を目的とした、非常に高い周波数の振動波や重力波などの新原理により、深海や地中の人や装置との通信を可能にするシステム
5	46	電力をマイクロ波またはレーザで地上に伝送する宇宙空間太陽光発電所
5	48	100MPa(=ca 1000 気圧)、300℃、Ph 1-7(強酸)の環境(温泉地域の地下 1km を想定)で生命体を培養・飼育する大容量(1000 liter を超える)空間の環境安定保持技術の開発
6	8	微粉炭火力発電の高効率化を目指した 700℃級蒸気タービン仕様の超々臨界圧発電技術（A-USC）
6	12	エネルギー消費の少ない CO_2 分離・隔離技術

分科会	番号	科学技術課題
6	13	地下貯留の長期監視技術を伴った CO_2 の地下貯留技術
6	14	CO_2 を物理的・化学的および生物的に固定し有効活用する技術
6	15	大規模で高効率のガスタービン（入口温度 1700℃以上）による大型複合サイクル発電
6	16	発電効率40％のセラミックスマイクロガスタービン
6	17	石炭ガス化発電に燃料電池を組み合わせた高効率発電技術（IGFC）
6	24	CO_2 回収・貯留（CCS）技術との組合せによる化石燃料を原料とした CO_2 フリー水素製造技術
6	52	宅内通信ネットワークを用いて家電機器、太陽光発電装置、蓄電池等を統合制御し、CO_2 排出を削減する家庭用エネルギーマネジメントシステム(HEMS)
6	53	原子力をはじめとした大型電源からPVなどの分散型電源および需要機器まで、全体の需給バランスをICTを活用し最適に運用することにより、低コスト、安定供給、低炭素化電力供給が可能となるような系統技術
6	54	都市部のヒートアイランド現象を緩和し、都市部でも郊外でも低炭素コミュニティづくりに寄与する、都市部や住宅地域において街区単位で自然・未利用エネルギーを活用し、建物間で電力・熱・水などを融通し、物質循環と一体となったエネルギーシステム（エネルギー・物質の面的利用）
6	55	中小企業でも導入可能な工場全体のエネルギーマネジメントシ ステム（FEMS）
7	1	マンガン団塊、重金属泥、熱水鉱床、コバルト・クラスト等の深海底金属資源の経済的採取・精錬技術
7	28	WEEE、焼却灰等から天然資源と拮抗する経済的レアメタル含有部品の選択的分離技術または選択的金属分離技術の開発
7	29	分離したレアメタル含有部品、金属含有物質を天然資源と拮抗する経済的規模(鉱床)まで貯蔵出来る社会システムの開発
7	34	金属スクラップや非鉄金属廃棄物から有害成分や有用成分を経済的に分離する技術
7	36	CO_2 地中貯留ポテンシャルを拡大するための対象層探査技術ならびに油層工学を活用した CO_2 増進貯留技術
7	37	従来未利用の低品位なレアメタル原料の経済的精製技術
7	38	採掘困難な深部石炭層を地中でガス化し、利用可能なガスを取り出す技術（石炭地下ガス化）
7	39	CO_2 圧入による油層・ガス層・炭層からのエネルギー資源開発ならびに貯留された CO_2 の再資源化など CO_2 地中貯留に経済的インセンティブを付与する技術
8	3	化学物質リスクの迅速評価の技術と制度が充実し、新規物質審査や既存物質点検が数ヶ月 で可能となる
8	55	一般廃棄物、産業廃棄物およびそれらの焼却灰・飛灰から、希少金属を合理的に回収・利用する技術が確立され、都市鉱山として必要資源の 50％以上が供給されるようになる
8	56	物質、エネルギー、水がコミュニティ単位で高効率に活用され、循環型社会が形成される
8	57	多くの産業で、製品の製造から廃棄までのライフサイクルにおいて、生態系への影響を考慮したエコファクトリー化、低エントロピー化を実現する技術が開発される
9	32	希少金属を用いない実用経済的ハイブリッド自動車用の高効率燃料電池
9	36	低環境負荷元素による新しい材料・デバイスの開発（鉄系高温超伝導体、環境半導体）
9	46	CO_2 削減のための炭素循環制御技術
9	76	食品や環境の安全をその場で確認できる超小型化学分析システム
9	77	家畜の異常を早期に察知するため、圃場・畜舎・養殖池等の環境情報や生物情報を高感度かつリアルタイムにモニタリングするセンサネットワークの実用化
9	80	化粧品、食品などの消費財に関するナノ粒子使用の安全基準の策定
9	82	発がん性、内分泌かく乱性等を持つ微量水質汚染物質に関する精度の良い計測・影響評価技術
10	32	製品や装置の超長期に渡る使用（循環型のものを含む）を実現するための初期設計情報や信頼性やメンテナンスなどの履歴に係わる情報を統合的かつ長期に渡って継続的に記録・保存するための技術とそれらの情報の存在を前提として超長期使用をより合理的に行うための技術
10	49	製造設備の廃棄時に、原子、分子レベルまで、構成要素を分解する技術
10	54	CO_2 に代わる、エネルギー・資源消費，製造過程（工場）や製品の環境負荷についての統合的かつ客観的な評価指標と，その指標の計測技術
10	64	現時点で効率的な処理法，利用法が開発されていない一般廃棄物を，将来利用可能な形態で安全・安価に貯蔵するシステムの構築
10	68	多様な製品・変動する生産量に対応できる、再構成可能な製造システムの 50％以上の工場への普及
11	16	地球温暖化、環境問題深刻化に対処するために、何らかの形でエネルギー多消費型の人の移動が制限されるようになる

分科会	番号	科学技術課題
11	37	過度に投機的なマネー、CO_2 削減、搾取工場などの世界的問題に対処するために、各国政府の枠を超えて世界共通の枠組みで経営問題をガバナンス、すなわち「監視」、「管理」、「調整」する組織が確立され、より権限を持ったグローバル・ガバナンス体制が確立される

■重要領域 6:恒久平和の実現

分科会	番号	科学技術課題
		なし

2. 安全分科会

■重要領域 1:安全に関するデータ・知識の連携・統合・提供

分科会	番号	科学技術課題
2	4	個人情報が安全に管理され、個人情報漏洩を恐れることなく、確実に保護しながら社会的公益性の高い情報の扱いが信頼された状況で行われる技術が確立する
2	5	個人の生活、健康状態、労働状況等を個人ごとに常時総合的に把握し日常行動に適切なアドバイスをするシステムが広く受け入れられる
2	6	すべての個人の日常行動が把握され、統計的に処理され、混雑、事故等を適切に検出し自動的に対策をとる社会システムが実現する
2	30	地球規模の未知の危機に対応するため、実時間データに基づき全地球的な気象・海洋・環境・生態系・伝染病・経済・人の動きなどを、トータルにシミュレーションして予測するシステム
2	34	バイオメトリクス認証の高度化により、パスポート不要で外国旅行ができるようになる
2	44	(生命維持装置)生命にかかわる重篤な事態の発生の兆候を示す身体の異変を検知し，本人・周囲に知らせるとともに緊急措置を行う．乳幼児，妊婦，過酷なスポーツ，老人一般など生命を脅かす原因が特定されておらず，広範な原因があり得る場合を想定する
2	45	緊急マネジメントシステム:災害時に人やリソースの手配、連絡業務を含むマネジメント、各方面への通報、事後レポートの生成を行う．典型的なケースとして，大学センター試験日における積雪による電車の遅れ，大規模災害(火災，交通事故)を想定する
2	56	(証拠生成管理システム)市民が種々の情報(例えば，騒音や迷惑)を証拠として係争可能なレベルで保管することを可能にするシステム
4	63	生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展による病気や災害等の予測
6	71	エネルギー需給双方に影響を及ぼす消費者心理、セキュリティ、リスク、政策効果等が分析出来るエネルギーシステムの社会経済モデル・ツールの開発
8	7	各地域や各事業所におけるリアルタイムでのリスク評価技術が開発され、公表される
8	27	衛星から地上の広域大気汚染物質(オキシダント、NOx、VOC など)を観測するセンサーシステムが開発される
9	68	次世代スーパーコンピュータ，グリッドコンピューティングなど革新的ハードウェアで初めて可能となる大規模材料計算技術
9	78	DNA に基づく個人認証を迅速に行う携帯型認証技術の実現
12	13	個人が現在いる位置を検出し、その位置の周辺情報(店舗情報、天気、環境情報など)とその個人固有の属性情報(年齢、性別、障害、健康状態など)から、その個人に必要とされる情報を判断してその個人に push 型で届けることができる技術が確立し、日常時の生活を支援するとともに、災害に対しては、可能な範囲での発生予測情報を即時に届けて未然に回避行動を促し、発生後には的確な避難行動を取れるようナビゲートするシステムが実現する
12	14	多世代にわたる都市居住環境ストレスの解明と、それに対応できる住宅地設計
12	19	加齢による動体視力低下等を考慮した公共空間における道路交通標識などの表示システム
12	21	地震や火山、洪水等の自然現象、あるいは人為的事故に伴う災害リスクポテンシャルを住民が認識、理解し、行政と協力して減災策を構築できるシステム
12	40	衛星通信技術等により、災害発生時にも遮断されず、輻輳も起さずに、平常時と同じようにテレビ並みの動画通信を可能とする無線通信システムが日本全土を網羅する

■重要領域 2:社会安全全体のシステムの構築

分科会	番号	科学技術課題
1	43	日常生活における健康増進を支援するユビキタスコンピューティング技術
1	67	人の生活、行動を支援するロボット(介護:食事介助、入浴介助、排泄介助、家事:掃除、洗濯、炊事、買い物、ゴミ捨て、生ゴミ粉砕等)が社会に普及する
3	63	生育障害や病虫害の発生、鳥インフルエンザ等感染症による家畜の異常を早期に察知するため、圃場・畜舎・養殖池等の環境情報や生物情報をリアルタイムにモニタリングするセンサーネットワーク
4	15	高齢者の脳機能の低下を抑制し、痴呆を防止するシステム
4	42	高齢者および障害者の生活支援ロボットを含めた知的コミュニケーション型住環境の整備
4	43	高齢者および要介護者等の機能評価と訓練機器の開発
4	59	医療社会および医療都市(高齢者の居住地域など)の設計技術の確立
4	60	新興感染症の流行を初期段階で早期に予測する方法論の確立
4	62	感染症における薬剤耐性克服の有効な戦略
4	65	空港や港において輸入感染症の感染者・保菌者をほぼ完全に検出できる体制
4	72	医療の質と資源の至適マネッジメントを可能にする医療社会制度モデルの確立
4	79	日常生活圏で全生体情報をモニターして健康を管理するユビキタスモニタリング医療
4	80	地域包括的ケアを可能にする統合的医療システム(生涯継続的地域 HER)
4	85	リサイクルを含む一貫した医療廃棄物処理システムの構築と産業育成
5	1	生態系と人間環境を含む地球表層系の多目的モデリング
5	2	温室効果ガスと大気汚染物質の高精度全球観測システム
5	3	雲・水蒸気・風の高精度・全球観測システム
5	4	地球表層系の高分解能・高頻度観測システム
5	5	海洋観測の多目的観測、全層、高密度展開
5	6	雲と降水系モデリングの精緻化と常時観測技術を利用した総合的陸面管理システム
5	7	太平洋・インド洋の季節気温変動の 5 年予測を可能とする予報・予測技術
5	8	日本海溝から三陸沖・東北地方東地域、南海トラフから東海・東南海・四国沖地域周辺の地殻深部歪力変動を測定し広報する技術とシステムの構築
5	13	海底面全域の高速度音響画像マッピング
5	23	防災のための沿岸急潮流の観測と予測
5	34	CO_2を海中に溶解あるいは海底下に固定する技術
11	59	人工および自然の物質・システムの健康や環境に対する長期的影響評価のためのシステムが確立し、危険・ネガティブ情報に関するモニタリング情報・サーベランス情報が政府により体系的に提供されるようになる

■重要領域 3:個人個人の安全性確保

分科会	番号	科学技術課題
2	6	すべての個人の日常行動が把握され、統計的に処理され、混雑、事故等を適切に検出し自動的に対策をとる社会システムが実現する
2	11	目や耳を介さずに、人と人との意思疎通ができたり、自分の脳で考えている内容を他人の脳に伝達することができる
2	15	外部のコンピュータやそのネットワーク、それらに接続された各種センサ・周辺機器等の全体を、人間が自らの脳や感覚器官、身体の延長として自然に使いこなせる技術が確立する
2	31	遠隔にいる高齢者や障害者に対し、遠隔操作により生活援助や介護を安全に行うことができるロボットハンドや走行ロボットが実現できる。安全に介護するために、ロボットには遠隔地からでは気がつかない危険を回避するなどの自律性や予測能力も持ち合わせる
2	40	記憶のメカニズムが解明され、外部から何らかの刺激を与えることで、脳に記憶された言葉やイメージなどの情報を思い浮かべることができるようになる。さらに、その情報を人に直接他人に伝達することができる
2	41	優れた芸人の所作や職人の技やちょっとしたしぐさ、作家の創造や思考のプロセスなどを、その人に邪魔にならずに自動的に取得しアーカイブすることで、技術や文化を継承することができるシステム
2	43	(熟練技能者のスキル伝承強化スーツ)熟練技能者と全く同じ視聴覚環境の中で熟練技能者のスキルを再現する強化スーツ
2	44	(生命維持装置)生命にかかわる重篤な事態の発生の兆候を示す身体の異変を検知し，本人・周囲に知らせるとともに緊急措置を行う．乳幼児，妊婦，過酷なスポーツ，老人一般など生命を脅かす原因が特定されておらず，広範な原因があり得る場合を想定する

分科会	番号	科学技術課題
2	61	体内埋め込み型の健康管理デバイスが日本の人口の 30%以上に普及し、個人の健康管理だけでなく統計的に疾病発生状況を把握することで予防的健康管理が大きく進展する
10	6	脳波を検知することで、人間の考えていることをコンピュータ上に表現できる設計・開発サポート技術
10	8	人間・ロボット・機械が仕事場所を共有して仕事ができるための，安全・安心技術，および，それを可能にするための社会的受容・制度・システム
10	9	人間が求めているサービスを解析し，適切なアドバイスやガイダンスを与えるための認識技術
10	45	子供、高齢者が安全に暮らせるネットワークインフラ技術
12	13	個人が現在いる位置を検出し、その位置の周辺情報（店舗情報、天気、環境情報など）とその個人固有の属性情報（年齢、性別、障害、健康状態など）から、その個人に必要とされる情報を判断してその個人に push 型で届けることができる技術が確立し、日常時の生活を支援するとともに、災害に対しては、可能な範囲での発生予測情報を即時に届けて未然に回避行動を促し、発生後には的確な避難行動を取れるようナビゲートするシステムが実現する

■重要領域 4:安全の責任の分配（個人によるもの、国によるもの）

分科会	番号	科学技術課題
2	4	個人情報が安全に管理され、個人情報漏洩を恐れることなく、確実に保護しながら社会的公益性の高い情報の扱いが信頼された状況で行われる技術が確立する

■重要領域 5:安全文化・安全教育

分科会	番号	科学技術課題
2	6	すべての個人の日常行動が把握され、統計的に処理され、混雑、事故等を適切に検出し自動的に対策をとる社会システムが実現する
2	53	誹謗中傷などの問題がある情報をネット上で検知し，そのときに人の自浄作用を促すように介入する人工エージェントが活躍するようになる

■重要領域 6:人工物（情報システム等を含む）の安全性の確保

分科会	番号	科学技術課題
2	18	遠隔にいる高齢者や障害者に対し、遠隔操作により生活援助や介護を安全に行うことができるロボットハンドや走行ロボットが実現できる。安全に介護するために、ロボットには遠隔地からでは気がつかない危険を回避するなどの自律性や予測能力も持ち合わせる
2	19	遠隔地にいながら直接患者と向き合っているように、患者に優しく聴診器をあてたり、触診したり、口臭などを感じたりできるようになる
2	49	被介護者の建物敷地内での 72 時間の自立生活を保障するシステム
2	50	被災現場で人間識別および救助に利用可能な災害救助ロボット技術
8	63	老朽化が進む上下水道の環境インフラの更新や再構築を効率的に行う技術が普及する
9	55	金属材料の疲労を非破壊検査し、残存寿命を使用状態で推測する技術
9	72	材料の非破壊検査と使用状態での残存寿命推測技術
9	73	材料の使用状態での生理学的安全性の評価・推測技術（ナノ材料の安全性，材料の化学的安定性など）
12	9	地域の安全安心と魅力の継続する地域管理戦略が推進される公によらないエリアマネジメント組織
12	12	大規模災害の被災時用に食料・医薬品・生活用品などを備蓄する計画技術が確立するとともに、道路や電力通信などのインフラ機能を保持する設計技術が確立することにより、被災地内で避難と生存を高めるとともに、高齢者や病人・けが人を被災地外に脱出させる防災対策技術が確立する
12	15	M6 以上の地震の発生時期（数か月～1年先）、規模、発生地域を予測する技術が確立し、その時期と規模に応じて当該地域での防災施策（耐震化、備蓄、一時避難等）の実施を優先的に支援する制度が制定される
12	16	爆発物や兵器、毒物等を迅速に発見してテロや環境汚染等を未然に防いだり、災害発生時には被災者を速やかに発見し救助を支援できるよう、人間の能力を超えた視覚・嗅覚・聴覚等を有するロボットまたはシステムが開発される
12	21	地震や火山、洪水等の自然現象、あるいは人為的事故に伴う災害リスクポテンシャルを住民が認識、理解し、行政と協力して減災策を構築できるシステム
12	40	衛星通信技術等により、災害発生時にも遮断されず、輻輳も起さずに、平常時と同じようにテレビ並みの動画通信を可能とする無線通信システムが日本全土を網羅する

分科会	番号	科学技術課題
12	47	従来の鉄鋼材料やコンクリート材料に替わる軽量高強度複合材料による、機械構造物、建築物、船舶等大重量構造物の製造技術
12	49	構造物の機能拡張、更新、撤去、リユース技術
12	50	寿命、更新時期を知らせるセンサが埋め込まれた構造物
12	55	予め構造物に埋め込み、外部から無線で電力を供給することなどで半永久的に非破壊で構造物の健全性を検知する技術

■重要領域 7:人の安全性

分科会	番号	科学技術課題
1	38	ドライバーのヒューマンエラーを発生させない安全な移動システム、
1	64	車－車間通信システムを活用した出会い頭などの事故を確実に防止できるシステム(車両、インフラ両方含めて)
1	66	自動車内に各種センサが配備され、故障を予知し、事故をおこさないシステム
2	6	すべての個人の日常行動が把握され、統計的に処理され、混雑、事故等を適切に検出し自動的に対策をとる社会システムが実現する
2	10	自分の目や耳で得た情報を直接他人の脳に伝達することにより、視覚、聴覚の補助ができる
2	15	外部のコンピュータやそのネットワーク、それらに接続された各種センサ・周辺機器等の全体を、人間が自らの脳や感覚器官、身体の延長として自然に使いこなせる技術が確立する
2	47	自動車の自動運転により、住所をセットするだけで日本国内の任意の住所間で人間と荷物を乗り換えなく自律搬送できるようになる
2	51	日本国内において、人の運転する車で、見通しの悪い地点等の視覚補助機能が必要なほとんどの地点に設置され、運転者を支援、介入することにより、交通事故が現在の十分の一となる
2	52	自動運転専用の道路が一般化し、自動運転が行われて道路の利用効率が現在の 3 倍に向上し、渋滞のほとんどない自動車交通が実現する
6	1	世界標準を獲得し得る次世代軽水炉
6	4	商用原子力発電所の廃止措置に対応できる、安全でかつ合理的な解体撤去技術
10	45	子供、高齢者が安全に暮らせるネットワークインフラ技術
12	16	爆発物や兵器、毒物等を迅速に発見してテロや環境汚染等を未然に防いだり、災害発生時には被災者を速やかに発見し救助を支援できるよう、人間の能力を超えた視覚・嗅覚・聴覚等を有するロボットまたはシステムが開発される
12	19	加齢による動体視力低下等を考慮した公共空間における道路交通標識などの表示システム
12	36	転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を大幅に半減させる新技術の開発
12	37	大都市の中心部において、地下鉄や共同溝の空いたスペースを利用したり、建物内のパイプスペースを使って、トラックターミナルや配送センターからビルの各フロアーまで、自動的に宅配便や郵便物物品が自動的に搬送されるシステムが実用化される
12	38	機体の一部が破損しても事故を回避できる自己修復航空機
12	43	自動車内に各種センサが配備されることによって、一般道における追突事故や出会いがしらの衝突事故などを未然に防ぐとともに、エンジンやタイヤなど故障の予知が可能となり、安全かつ円滑に走行できる運転システムが実用化される
12	53	建物構造性能・環境性能のモニタリング・評価・保全技術

■重要領域 8:環境、災害からの安全性

分科会	番号	科学技術課題
2	30	地球規模の未知の危機に対応するため、実時間データに基づき全地球的な気象・海洋・環境・生態系・伝染病・経済・人の動きなどを、トータルにシミュレーションして予測するシステム
2	45	緊急マネジメントシステム:災害時に人やリソースの手配、連絡業務を含むマネジメント、各方面への通報、事後レポートの生成を行う. 典型的なケースとして, 大学センター試験日における積雪による電車の遅れ, 大規模災害(火災, 交通事故)を想定する
2	50	被災現場で人間識別および救助に利用可能な災害救助ロボット技術
6	38	高品質電力供給システム
8	5	化学プラントやタンカーなどでの大規模な事故や災害の発生時に労働者や近隣住民および自然生態系に対する被害を未然に防止したり早期に回復させる減災技術システムが確立され、突発的な環境リスクが最小化される

分科会	番号	科学技術課題
8	7	各地域や各事業所におけるリアルタイムでのリスク評価技術が開発され、公表される
8	26	生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展によって伝染病や災害の予測が可能となる
9	75	ウイルス等の院内感染連続モニターシステムのためのセンシング素子・材料の実用化
9	76	食品や環境の安全をその場で確認できる超小型化学分析システム
9	77	家畜の異常を早期に察知するため、圃場・畜舎・養殖池等の環境情報や生物情報を高感度かつリアルタイムにモニタリングするセンサネットワークの実用化
9	82	発がん性、内分泌かく乱性等を持つ微量水質汚染物質に関する精度の良い計測・影響評価技術
10	7	安全・効率的・安価な老朽化したインフラの点検と補修工事，地球温暖化に伴って増加しつつある自然災害の被害を受けた危険箇所の補修工事，自然・人為災害の人的被害を最小化するための災害軽減化・災害対応，などの屋外作業の遠隔化・半自律化・自動化のために，インテリジェントシステム・ロボットに対するニーズが高い．以上を技術的に実現するための，センサや工事機材を目的箇所まで運搬できるための移動技術
10	8	人間・ロボット・機械が仕事場所を共有して仕事ができるための，安全・安心技術，および，それを可能にするための社会的受容・制度・システム
10	45	子供、高齢者が安全に暮らせるネットワークインフラ技術
11	39	地震リスクマネジメントの一般化
11	40	地域のコミュニティに基づく防災・福祉活動の能力を向上させるための効果的な情報システム・社会制度構築
11	59	人工および自然の物質・システムの健康や環境に対する長期的影響評価のためのシステムが確立し、危険・ネガティブ情報に関するモニタリング情報・サーベランス情報が政府により体系的に提供されるようになる
12	8	災害発生確率やリスク評価に基づく土地利用規制
12	9	地域の安全安心と魅力の継続する地域管理戦略が推進される公によらないエリアマネージメント組織
12	15	M6 以上の地震の発生時期（数か月～1年先）、規模、発生地域を予測する技術が確立し、その時期と規模に応じて当該地域での防災施策（耐震化、備蓄、一時避難等）の実施を優先的に支援する制度が制定される
12	16	爆発物や兵器、毒物等を迅速に発見してテロや環境汚染等を未然に防いだり、災害発生時には被災者を速やかに発見し救助を支援できるよう、人間の能力を超えた視覚・嗅覚・聴覚等を有するロボットまたはシステムが開発される
12	18	都道府県単位で対応が必要となる程の規模の自然災害が発生した際に、国や自治体の災害対策本部等が効果的な応急活動を行うことができるよう、被害把握や拡大予測を即時に行うことができるシステム
12	20	気象現象（降雨、台風、局所的豪雨、降雪など）により引き起こされる自然災害（洪水、地すべり、土石流、雪崩など）から人的被害を未然に防ぐために、当該自然災害の短時間（1時間程度先）予測および警報・避難・規制システムの確立と、それを実現するために必要な気象現象の高精度観測システムの確立
12	21	地震や火山、洪水等の自然現象、あるいは人為的事故に伴う災害リスクポテンシャルを住民が認識、理解し、行政と協力して減災策を構築できるシステム
12	36	転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を大幅に半減させる新技術の開発
12	40	衛星通信技術等により、災害発生時にも遮断されず、輻輳も起さずに、平常時と同じようにテレビ並みの動画通信を可能とする無線通信システムが日本全土を網羅する

3. 協調分科会

■重要領域 1:未発見・未利用資源エネルギーの探査・開発・確保

分科会	番号	科学技術課題
5	12	熱水鉱床などの海底資源の回収技術
5	24	湧昇流を利用した生物資源増殖技術
5	26	コバルトリッチクラスト開発技術開発
5	32	深海化学合成生態系による海洋へのエネルギーと物質寄与を高精度に見積もる技術
5	33	深度 15km、温度 400℃を基本仕様とする掘削時、同時計測が可能なビット技術の確立
5	36	海水中に容存している酸素や水素を取り出してエネルギーを生み出す海水エンジン
5	46	電力をマイクロ波またはレーザで地上に伝送する宇宙空間太陽光発電所
6	11	メタンハイドレート採掘利用技術

分科会	番号	科学技術課題
6	36	日本との国際連系電力ネットワークシステム
6	37	(天然ガス輸送手段としての)メタンハイドレートのハンドリング技術
6	39	中小ガス田向きの天然ガスの海上液化基地(FLNG)
6	54	都市部のヒートアイランド現象を緩和し、都市部でも郊外でも低炭素コミュニティづくりに寄与する、都市部や住宅地域において街区単位で自然・未利用エネルギーを活用し、建物間で電力・熱・水などを融通し、物質循環と一体となったエネルギーシステム(エネルギー・物質の面的利用)
6	70	未利用 CO_2フリーの熱源を利用した外燃スターリング動力回収システム
6	71	エネルギー需給双方に影響を及ぼす消費者心理、セキュリティ、リスク、政策効果等が分析出来るエネルギーシステムの社会経済モデル・ツールの開発
7	1	マンガン団塊、重金属泥、熱水鉱床、コバルト・クラスト等の深海底金属資源の経済的採取・精錬技術
7	2	将来的地熱資源としての火山エネルギー監視・利用技術
7	3	コミュニティ単位で自然・未利用エネルギーを活用し、物質循環サイクルを形成する技術
7	4	バイナリー発電・温泉発電などによる中低温地熱資源利用技術
7	5	重力測定・測地技術を利用した地熱資源モニタリング技術
7	6	地表水・海水を利用した高効率型エネルギー供給技術
7	7	深海底下に賦存するメタンハイドレートの経済的な開発・生産技術
7	11	未利用の深海微生物の生理機能を利用した、食品や医薬品等の生産技術
7	15	高収量かつ持続可能性保持(輪作可能)なバイオマス生産技術の開発
7	16	植物・微生物を用いた燃料/バイオケミカルズの製造技術
7	25	栽培漁業や海洋資源発掘にむけた広域水循環(浄化・再利用)システム
7	28	WEEE、焼却灰等から天然資源と拮抗する経済的レアメタル含有部品の選択的分離技術または選択的金属分離技術の開発
7	29	分離したレアメタル含有部品、金属含有物質を天然資源と拮抗する経済的規模(鉱床)まで貯蔵出来る社会システムの開発
7	34	金属スクラップや非鉄金属廃棄物から有害成分や有用成分を経済的に分離する技術
7	37	従来未利用の低品位なレアメタル原料の経済的精製技術
7	40	資源量の豊富な褐炭等の劣質石炭の製鉄用優良炭材への改質技術
7	41	超臨界水等を用いたオイルサンド・ビチューメンの経済的な熱分解技術
7	43	深海や地下深部の資源を安全且つ経済的に採取するための遠隔採取システム(通信技術およびロボット技術の活用)
7	45	海水中から経済的にウランを回収する技術
7	46	原子力エネルギーによる未利用炭素資源からの製鉄用還元ガス製造技術
7	47	炭鉱等から通気等から排出される低濃度メタンガスの利用と濃縮技術
7	52	コークス用炭の世界規模での品質、採掘可能な資源量の把握
7	55	バーチャルウォーターの地球規模での移動解析と国際トレード制度
7	59	国連が中心になって資源を共同探査するシステム
7	60	資源の開発・利用に関与し、国際舞台で活躍できる知識と専門性を有する日本の技術者育成
8	14	住民参加型の廃棄物の有効利用／分散型エネルギーシステムが構築される
8	30	各産業での物流情報や産業連関解析などを用いた都市での物質循環や水利用を効率的に把握する情報解析技術が開発される
8	32	衛星観測と地上観測の効果的な統融合により、流域単位での表流水・地下水循環が予測される技術が開発される
8	43	途上国において安易に焼却処理されているバイオマス廃棄物を有効に利活用する技術が開発される
8	58	未利用バイオマス、廃棄物のガス化による発電および合成燃料製造技術が確立し、化石燃料への依存度を低減することに貢献する
8	61	日本が技術的優位性を持つ、膜などの素材や水システム技術を足がかりに、オールジャパン体制で戦略的に開発を進め、拡大する世界の水ビジネスに進出、21 世紀の世界的課題の一つである水の分野で 30%のシェアを占め、課題解決に大きく貢献する
8	62	世界中の人々が、安心して飲める水に容易にアクセスできるような経済合理的なインフラ技術や分散型システムが実現・普及する
9	34	太陽光と水で高効率に水素を製造する生産プロセス
9	35	水素密度 10wt%以上で放出温度 100℃以下を実現する高密度水素貯蔵材料
9	36	低環境負荷元素による新しい材料・デバイスの開発(鉄系高温超伝導体、環境半導体)
9	45	風・音波等の微小振動や微小変化から発電する素子
10	65	エクセルギー的にみて使いにくい低品位熱エネルギーを効率よく高エクセルギー状態に転換する技術

分科会	番号	科学技術課題
10	66	間欠的に生じる未利用熱エネルギーを効率よく利用する技術
10	67	廃棄時の再生・再利用を考慮した太陽電池システム
12	23	Li, Be 等希少原料を廃品の中から 90%回収する
12	24	地球上で希少な材料の必要量の 50%を他の惑星，衛星から採掘するシステム
12	52	コミュニティ単位で自然・未利用エネルギーを活用し、物質循環サイクルを形成する技術

■重要領域 2：地球規模の人間活動のウォッチングと制御

分科会	番号	科学技術課題
2	26	グリーン ICT システム：情報の伝達・蓄積システムに係る必要エネルギー量が 2010 年に比較して、100 万分の1になる（取り扱い情報量で正規化）
2	29	食品の大半をカバーする世界的トレイサビリティ・システム
2	30	地球規模の未知の危機に対応するため、実時間データに基づき全地球的な気象・海洋・環境・生態系・伝染病・経済・人の動きなどを、トータルにシミュレーションして予測するシステム
2	72	全世界的な経済活動と地域ごとに動いている経済活動（あるいは学校）など広範囲とローカルな両面の要因を持つ人の流動と，それぞれの地域ごとの気温や湿度・風向きなどの環境要因と，感染症の発生など人が持っている生理学的な仕組みとをあわせて感染症の発生と伝搬を予測する技術が使われるようになる
6	1	世界標準を獲得し得る次世代軽水炉
6	12	エネルギー消費の少ない CO_2 分離・隔離技術
6	13	地下貯留の長期監視技術を伴った CO_2 の地下貯留技術
6	14	CO_2 を物理的・化学的および生物的に固定し有効活用する技術
6	15	大規模で高効率のガスタービン（入口温度 1700℃以上）による大型複合サイクル発電
6	16	発電効率40％のセラミックスマイクロガスタービン
6	17	石炭ガス化発電に燃料電池を組み合わせた高効率発電技術（IGFC）
6	18	集中型太陽熱発電(中央タワー，ソーラー・トラフ，太陽熱化学システム等)
6	19	シリコンや GaAs を用いた太陽電池を凌駕するエネルギー変換効率の新材料技術
6	20	変換効率 20％以上の大面積薄膜太陽電池
6	22	風力発電予測技術
6	24	CO_2 回収・貯留（CCS）技術との組合せによる化石燃料を原料とした CO_2 フリー水素製造技術
6	25	革新的水素貯蔵材料技術（水素貯蔵量10重量％以上、放出温度 100℃程度）
6	26	原子力・太陽熱・地熱等を利用した超高温水素製造技術
6	27	太陽光で水を分解する水素生産プロセス
6	28	CO_2 フリーな再生可能水素の国際需給ネットワークの確立
6	44	1MW、50kWh級電力貯蔵用超伝導フライホイール SMES（超電導磁気エネルー貯蔵システム）
6	45	燃料電池自動車への水素供給インフラネットワーク（水素ステーション：5000 箇所）
6	46	固体高分子形自動車用燃料電池（寿命：15年以上、コスト：4千円/kW以下（100 万台/年）、外部無加湿、-40℃～120℃対応）
6	47	燃料電池を搭載した交通機関（船舶、鉄道）
6	48	船舶の摩擦抵抗低減技術が実用化され、所要馬力が 20%程度低減する
6	49	プラグインハイブリッド自動車などのバッテリーを用いて需要家内や配電系統の需給制御を行う(V2G)
6	50	CPU の省電力化、液体冷却、サーバーの統合・仮想化、空調設備の電力制御など IT 機器やデータセンターなどのグリーン IT により、大幅な省エネルギー化を図る
6	51	各種センサ、計測器により室内環境や設備の運用状況を監視し、ビル内のエネルギー・環境負荷を管理するシステム（Building Energy management System、BEMS）各種の BEMS が中小規模の建物まで広く普及し、業務部門の自動化された省エネルギーが進む
6	52	宅内通信ネットワークを用いて家電機器、太陽光発電装置、蓄電池等を統合制御し、CO_2 排出を削減する家庭用エネルギーマネジメントシステム(HEMS)
6	53	原子力をはじめとした大型電源からPVなどの分散型電源および需要機器まで、全体の需給バランスをICTを活用し最適に運用することにより、低コスト、安定供給、低炭素化電力供給が可能となるような系統技術
6	54	都市部のヒートアイランド現象を緩和し、都市部でも郊外でも低炭素コミュニティづくりに寄与する、都市部や住宅地域において街区単位で自然・未利用エネルギーを活用し、建物間で電力・熱・水などを融通し、物質循環と一体となったエネルギーシステム（エネルギー・物質の面的利用）

分科会	番号	科学技術課題
6	55	中小企業でも導入可能な工場全体のエネルギーマネジメントシ ステム(FEMS)
6	65	150℃を越える蒸気生成が可能な産業用ヒートポンプ
6	66	民生用超高効率ヒートポンプ(空調・給湯・冷凍機用等、排熱回収も含む)
6	68	次世代高効率照明技術(LED/LD/ELの高効率化, 革新的面発光体を含む)
6	69	自然エネルギー、自然通風、自然採光、及び雨水・地下水等の利用を可能とするエネルギー自立型建築技術
6	72	新エネルギー、省エネルギーの導入を支援する税制、法制度、排出権取引制度、グリーン認証制度の整備
7	14	リモートセンシングやネットワークを活用した農林水産資源のモニタリングシステムの開発
7	18	水利用・水質汚濁実態の地球規模観測(全球 1 キロメッシュデータ整備
7	23	逆浸透膜などによる経済的・実用的な海水淡水化、汚染水浄化再利用技術を活用した地域調和型水循環利用システム
7	24	水保有量の地域偏在化を解消するための高効率な水輸送システム
7	35	石炭、重質油、バイオマス等の炭化水素資源に適用可能な CCS を組み入れた水素製造、ガス化による発電および合成燃料製造技術
7	36	CO_2 地中貯留ポテンシャルを拡大するための対象層探査技術ならびに油層工学を活用した CO_2 増進貯留技術
7	39	CO_2 圧入による油層・ガス層・炭層からのエネルギー資源開発ならびに貯留された CO_2 の再資源化など CO_2 地中貯留に経済的インセンティブを付与する技術
7	48	地球規模での太陽エネルギー利用の最適化
8	4	気候変動や人為活動の拡大による生態系の機能低下に対するリスクを評価し将来を予測する技術が開発される
8	8	商品の環境情報(カーボンフットプリント、フードマイレージ)が一般的になる
8	25	大気・海洋・陸域各圏と生態系を含む物質循環を同時に扱うことができる地球システムモデルによる数十年規模の地球環境変動予測が可能になる
8	40	大気環境中での寿命が長い PFC、HFC、SF6 の代替化技術が開発される
8	41	農業と工業プロセスからのメタン・N2O 排出削減技術が進み、大気メタン濃度が激減し、N2O 濃度は増加が停止する
8	42	途上国の未発達な排水処理等から発生する大量のメタンガスを効率的に回収し利活用する技術が開発される
8	46	CO_2 ガスの国別吸排出量を人工衛星により高精度で観測する技術が実用化する
8	47	温室効果ガスの自然による発生と吸収・固定のメカニズムが解明され、対策技術に活用される
8	51	カーボンオフセットと生物多様性オフセットが融合したバンキング・システムが開発される
9	4	蓄電、送電時のエネルギーロス低減材料
9	18	高効率の人工光合成技術
9	24	変換効率10%以上の熱電発電モジュール
9	28	低コストで変換効率 20%以上の大面積薄膜太陽電池
9	33	環境に CO_2 を排出せずに石炭から水素を製造する材料技術
9	34	太陽光と水で高効率に水素を製造する生産プロセス
9	44	再生可能エネルギー源(太陽光・風力・海洋エネルギー)を活用するための低環境負荷材料
9	46	CO_2 削減のための炭素循環制御技術
9	50	蛍光灯に代わる照明用の有機高分子面発光体
9	81	材料のライフサイクルアセスメント(LCA)のデータベースの確立とそれを用いた、製品の LCA を算出する技術の実用化
12	1	土地利用変化に伴う地域環境変化検出するためのリモートセンシング技術
12	2	地域社会・一次産業の変質と物質循環・災害リスク増大の連関分析・予測技術
12	6	地形地質、地下水、動植物など、自然環境条件の開発抵抗力、その逆に生態系保全上の保全必要性に依拠したエコロジカルプランニングシステム
12	29	土地の保全管理を維持するための UIJ ターン、マルチハビテーション
12	34	高齢社会・低炭素社会のモビリティマネジメントをサポートする、地区から広域に至るシームレスな階層的交通システム技術
12	35	CO_2 及び NOx 排出量を 50%程度低減する次世代クリーンシップの開発
12	39	化石燃料に依存しない推進機関を有する航空機
12	42	都市間の貨物輸送における効率化を図るために、鉄道と道路、道路と港湾・空港、鉄道と港湾・空港の結節を円滑にし、結節点における時間・コスト・環境負荷を半減するシステム

分科会	番号	科学技術課題
12	45	都市間の効果的な移動を確保するTDM
12	46	都市部の土地利用の流動性を担保するロードプライシング

■重要領域 3:人類の生涯にわたる健康の実現

分科会	番号	科学技術課題
2	5	個人の生活、健康状態、労働状況等を個人ごとに常時総合的に把握し日常行動に適切なアドバイスをするシステムが広く受け入れられる
2	30	地球規模の未知の危機に対応するため、実時間データに基づき全地球的な気象・海洋・環境・生態系・伝染病・経済・人の動きなどを、トータルにシミュレーションして予測するシステム
2	61	体内埋め込み型の健康管理デバイスが日本の人口の 30%以上に普及し、個人の健康管理だけでなく統計的に疾病発生状況を把握することで予防的健康管理が大きく進展する
2	72	全世界的な経済活動と地域ごとに動いている経済活動(あるいは学校)など広範囲とローカルな両面の要因を持つ人の流動と，それぞれの地域ごとの気温や湿度・風向きなどの環境要因と，感染症の発生など人が持っている生理学的な仕組みとをあわせて感染症の発生と伝搬を予測する技術が使われるようになる
2	73	予測市場やその他の集合知メカニズムが、企業や政府を初めとする社会一般で幅広く活用されるようになり、経済や社会等についての予測、政治や企業経営等の意思決定、感染症やテロ等のさまざまなリスク情報の発見がより適切にかつ効率よく行えるようになる
3	63	生育障害や病虫害の発生、鳥インフルエンザ等感染症による家畜の異常を早期に察知するため、圃場・畜舎・養殖池等の環境情報や生物情報をリアルタイムにモニタリングするセンサネットワーク
4	60	新興感染症の流行を初期段階で早期に予測する方法論の確立
4	62	感染症における薬剤耐性克服の有効な戦略
4	65	空港や港において輸入感染症の感染者・保菌者をほぼ完全に検出できる体制
7	21	有害微量化学物質やノロウィルスなどのモニタリングや新しい除去技術の発展による安全で安心な上水供給システム
7	27	都市河川，堀，公園における藻類や病原菌などの除去・発生抑制水処理システム(モニタリングを含む)導入による安全な親水空間創出
8	1	環境リスクマネジメントの概念が社会に浸透し、関係者のリスクコミュニケーション技術が飛躍的に向上する
8	3	化学物質リスクの迅速評価の技術と制度が充実し、新規物質審査や既存物質点検が数ヶ月で可能となる
8	4	気候変動や人為活動の拡大による生態系の機能低下に対するリスクを評価し将来を予測する技術が開発される
8	5	化学プラントやタンカーなどでの大規模な事故や災害の発生時に労働者や近隣住民および自然生態系に対する被害を未然に防止したり早期に回復させる減災技術システムが確立され、突発的な環境リスクが最小化される
8	6	購入商品や調達原材料に付随する環境リスク情報を物流とともに川下へ伝達する技術が各産業分野で確立する
8	7	各地域や各事業所におけるリアルタイムでのリスク評価技術が開発され、公表される
8	13	生活の省エネ、老人対策等を進めるために、農業従事者も地方都市に生活するようになり、通勤型の農業が一般化する
8	20	癒し効果の生理的解明が進み、森林や木材などの生物資源の持つ特性を利用した新たな療法が開発される
8	21	大気・水質・土壌汚染の環境動態シミュレーション技術を用いた健康リスク・生態リスク評価が進み、環境アセスメントに利用される
8	26	生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展によって伝染病や災害の予測が可能となる
8	29	発がん性などの遺伝毒性、内分泌かく乱性、自然生物に対する生態毒性などを有する有害物質を、数百種類まとめて一斉に分離・定量できる分析測定システムが開発される
8	33	高齢者が生活しやすい生活環境が都市にも農村にも公平に整備され、老後の生活拠点を自由に選択できるようになる
8	34	都市と農村を包括した流域を単位とした環境配慮型土地利用計画手法が実現する
8	36	都市におけるヒートアイランド、乾燥化、ハビタット消失などを緩和するための分散型人工ビオトープとしての屋上及び垂直緑化技術およびその評価手法が開発される

分科会	番号	科学技術課題
8	39	地域農林業資源・有機性廃棄物などのバイオマスエネルギーを効率よく利用して高付加価値農林産物を低コストで産出し、経済的にも持続可能な農林業が実現する
9	52	環境調整機能を持った内外装材料
9	75	ウイルス等の院内感染連続モニターシステムのためのセンシング素子・材料の実用化
9	76	食品や環境の安全をその場で確認できる超小型化学分析システム
9	77	家畜の異常を早期に察知するため、圃場・畜舎・養殖池等の環境情報や生物情報を高感度かつリアルタイムにモニタリングするセンサネットワークの実用化
9	82	発がん性、内分泌かく乱性等を持つ微量水質汚染物質に関する精度の良い計測・影響評価技術
12	3	植生、地形、地質、水系、動植物など自然環境の情報はもとより、建築、集落、商業空間など土地利用情報が、それぞれ 1/5,000、1/10,000、必要に応じて定期的観測にもとづき、1/1,000、1/2,500 で全国的に提供できる GIS（Geographic Information Systems）土地利用情報集積活用システム
12	17	中山間地などの交通不便地域などに居住する高齢者や生活習慣病患者の生活を支援維持するために、IT技術を利用した遠隔診療システムや健康管理システムが確立し、通院しなくても必要な医薬品や療養食が補給される物流サービスが始まる
12	29	土地の保全管理を維持するための UIJ ターン、マルチハビテーション

■重要領域 4：日本発の科学技術の産業化

分科会	番号	科学技術課題
2	17	視聴覚の情報に加え、手触り、香り、味も伝えることによって、家庭に居ながらにして、あたかも店に出むいて商品をたしかめているようにショッピングが可能になる
2	20	旅行など外に出かけることができない人でも、観光地のロボットを遠隔操作することで行きたい所に広画角・立体カメラと高臨場感音声取得マイク、触覚・雰囲気・においセンサーなど持っていくことで、あたかもその場にいるような感覚をもたらすことができるようになる
2	23	異なるオフィスにいる同僚と常時同じオフィスにいるのと同じコミュニケーションで協力できるようになり、すべてのオフィスワーカの仕事の半分の遠隔勤務が日本で実現する
2	25	対面型ビジネスコミュニケーションを物理的移動により実際に対面して行う組織間及び組織内の会議・打ち合わせ・プレゼンテーションと定義したとき、ワークライフバランスの観点及び低炭素社会実現の観点から、現在の対面型ビジネスコミュニケーションの 50%が遠隔化される
2	41	優れた芸人の所作や職人の技やちょっとしたしぐさ、作家の創造や思考のプロセスなどを、その人に邪魔にならずに自動的に取得しアーカイブすることで、技術や文化を継承することができるシステム
2	43	（熟練技能者のスキル伝承強化スーツ）熟練技能者と全く同じ視聴覚環境の中で熟練技能者のスキルを再現する強化スーツ

■重要領域 5：教育機能の展開と活用

分科会	番号	科学技術課題
11	8	頭脳労働に対する対価が世界的に平準化し、高度専門家は国境を越えて自由に移動するようになる
11	13	初等教育において留学制度が開始されるとともに、インターナショナルスクールの誘致が促進されるようになる

■重要領域 6：国際的課題を解決するための方法論の開拓

分科会	番号	科学技術課題
2	67	政策提言や制度設計の時には，社会的受容性や国内外での影響などを個々人のレベルでシミュレーションし，問題点を把握する技術
2	78	提供するサービスが、国・地域、分野毎に異なる法令によりどのような時期や形態なら提供可能かを提案するシステムが使われるようになる
6	1	世界標準を獲得し得る次世代軽水炉
7	42	CO_2 海洋隔離が海洋環境に及ぼす影響の定量的評価手法の確立とそれに基づく中深層溶解法ならびに深海底貯留法の安全性検証および国際承認の取得
7	55	バーチャルウォーターの地球規模での移動解析と国際トレード制度
7	56	資源開発における環境負荷評価と地域社会合意形成の方法論
7	57	資源開発における利益配分に対する地域合意形成の方法論

分科会	番号	科学技術課題
7	58	省エネルギー等の技術協力・移転による国益と国際的合意に基づいた世界益・地域益へ結実するための導入技術と方法論
7	59	国連が中心になって資源を共同探査するシステム
7	60	資源の開発・利用に関与し、国際舞台で活躍できる知識と専門性を有する日本の技術者育成
8	1	環境リスクマネジメントの概念が社会に浸透し、関係者のリスクコミュニケーション技術が飛躍的に向上する
8	12	都市や農村などにおける地域的な環境問題を解決するために、環境負荷を最小化するような環境アセスメント手法に基づいた合意形成システムが構築される
8	19	国際的な問題に対して、多様な科学的知見や主張・価値判断を整理・分析して表示することにより、問題の全体像把握を可能にし、関係国の合理的な政治判断を支援する技術が開発される
8	23	将来社会予測技術が進歩し、政策と科学のコミュニケーションが進むことで国際合意がなされ、途上国を含めた温室効果ガス半減の具体的な計画がなされる
8	68	リスクトレードオフの評価手法（例：風力発電の希少猛禽類衝突死リスク管理など）が確立、その考え方を大多数の人が受け入れ、納得のいく公正な意思決定ができるようになる
12	10	クオリティ・ストック構築とエリアマネジメント技術による、都市・農村中心部の多年齢受容型かつ気候変化対応型「コーポラティブ街区」形成システム

4. 競争分科会

■重要領域 1：国際的に通用するインテリジェンスとタフネス

分科会	番号	科学技術課題
7	60	資源の開発・利用に関与し、国際舞台で活躍できる知識と専門性を有する日本の技術者育成
10	38	グローバルな遠隔地間で連携して展開される総合的な設計活動を支援するための技術．さらに，そのような連携技術あるいはそれらを活用して進められる設計活動においてのもとでも，コアとなる技術についての知財を守りながらも，必要な連携活動を円滑に行うための情報システム
10	40	複雑化するグローバルな製造の問題に対して，グローバルに分布する多様な人的資源を選択的に活用し連係させることにより，従来にはなかった水準での設計生産を実現するための組織論および設計プロセス構成論
11	1	実験経済学等の研究により、個人の心理、意識の分析がなされ、意思決定を予測できるようになり、これが企業組織、市場等の制度設計及び企業の製品開発、技術開発に用いられるようになる
11	4	グローバル化した日本の大企業の約半数おいて、社内公用語は英語になる
11	5	日本企業同士のアライアンスの発想から、企業の国際競争力を向上させるための海外企業とのアライアンスへの転換が進む
11	11	国際的経済活動に適用される、商法、取引法、税法、競争法、知的財産権法の国際的統一化が進み、そのような国際標準に基づく企業の国際的経営の容易化
11	13	初等教育において留学制度が開始されるとともに、インターナショナルスクールの誘致が促進されるようになる
11	31	大学院教育から職業訓練において、リカレント教育が一般的になり，人材が社会構造の変動に対応して流動するようになる

■重要領域 2：認識の共有

分科会	番号	科学技術課題
2	17	視聴覚の情報に加え、手触り、香り、味も伝えることによって、家庭に居ながらにして、あたかも店に出むいて商品をたしかめているようにショッピングが可能になる
2	33	言語だけでなく文化的背景や地名人名などの固有名詞なども自動学習し機械翻訳できるシステム
2	35	さまざまな世界の WEB 情報や新聞・放送情報、学会情報などから、多言語で知識を自動的に蓄積し、コーパスを構築することによって、あらゆる分野のことばのやりとりを自動的に音声認識し、翻訳し、音声合成できるシステムが実現できる
2	37	日本で世界の TV 番組のほとんどをネットワークを通して言語の障害なく視聴でき国際理解がすすむ
2	38	視覚障害、聴覚障害者のために、映像情報、音声情報をその人に伝達することができる
2	39	ALS などの障害のある人に自分の意志を言語に変換できるポータブル会話装置
2	40	記憶のメカニズムが解明され、外部から何らかの刺激を与えることで、脳に記憶された言葉やイメージなどの情報を思い浮かべることができるようになる。さらに、その情報を人に直接他人に伝達することができる

分科会	番号	科学技術課題
2	41	優れた芸人の所作や職人の技やちょっとしたしぐさ、作家の創造や思考のプロセスなどを、その人に邪魔にならずに自動的に取得しアーカイブすることで、技術や文化を継承することができるシステム
2	42	個人の記憶をコンピュータに移し、自分の記憶と同様なインタフェースで検索し処理出来るようにして、脳の機能が拡張される
2	43	(熟練技能者のスキル伝承強化スーツ)熟練技能者と全く同じ視聴覚環境の中で熟練技能者のスキルを再現する強化スーツ
2	48	視聴覚障害者に健常人と同程度の安全性を確保できる程度の人工視覚や人工聴覚が開発され，実用化される
2	53	誹謗中傷などの問題がある情報をネット上で検知し，そのときに人の自浄作用を促すように介入する人工エージェントが活躍するようになる
2	54	どんな状況においても，発信している情報を読み取り，書かれている内容から人の対面コミュニケーションとその周囲に見ている人たちのようにイメージ化して，行為の適切さを促すイメージング技術
2	55	ネット上の情報を誰がいつ考案したのか，その確からしさはどの程度なのか，その後どのように改訂されていったのか等を，著者の自己申告によらずに管理し，信頼性を保証する手段として確立していくようになる
2	75	遠隔コミュニケーションツールとしての遠隔操作型ヒューマノイドロボットが実用化され、傷病、年齢、心身障害等、さまざまな理由により社会に参加できない人が社会に参加できるようになる
2	76	ICT 活用により情報格差(ネット通販、高品質仮想現実システムによるコンサート・展覧会・会議・懇談・遠隔恋愛等)に関して、80%の過疎地住民が、首都圏住民と大きな差異を認識しなくなる
8	16	環境に関する思想・哲学・倫理が整理され、初等教育課程の環境教育を通して国民の生活スタイルが変化する
8	37	地域の伝統的な祭りや文化など経済性指標では計れない価値を評価する手法が開発され、地域ぐるみでスムーズな協働活動が促進される
11	2	認知心理学や脳科学などの理論に基づき，言語化が困難な考えや感情を引き出し，消費者自身が自覚していないニーズやウォンツを理解する研究が進み，研究開発やマーケティング等に応用される
11	7	国際競争力の回復に向けて、異文化を前提とするマネジメント能力を向上させるため、歴史、文化、言語、法制度、価値観の違いを理解するための能力に関する研究が促進される
11	20	我が国において、歴史的建造物や景勝地の保護がより重視されるようになり、自然環境、公共財、住環境の保持・整備のために個々人、法人による資金の拠出が促進されるように法律が整備され、多面的な公共的価値がさまざまな方法で保持されるようになる

■重要領域 3:日本的センスに基づく方法論の提示

分科会	番号	科学技術課題
7	3	コミュニティ単位で自然・未利用エネルギーを活用し、物質循環サイクルを形成する技術
8	15	生産中心の農業から環境負荷を軽減する農業シフトするための環境技術が構築される
8	56	物質、エネルギー、水がコミュニティ単位で高効率に活用され、循環型社会が形成される
8	59	家庭単位の廃棄物処理・循環技術が確立し、家庭の廃棄物排出負荷が大幅に低下し、収集も不要となる
11	20	我が国において、歴史的建造物や景勝地の保護がより重視されるようになり、自然環境、公共財、住環境の保持・整備のために個々人、法人による資金の拠出が促進されるように法律が整備され、多面的な公共的価値がさまざまな方法で保持されるようになる
11	54	ものづくり、製造技術の暗黙知(基本技術・技能、ノウハウ、経験など)を形式知化する技術が確立され、技術の伝承が着実におこなえるようになる
11	57	映像デジタル化、バーチャルリアリティ技術を活用した伝統芸能などの無形文化財、パフォーマンスの保存・保護および技術伝承に関わる技術が確立される
12	52	コミュニティ単位で自然・未利用エネルギーを活用し、物質循環サイクルを形成する技術

■重要領域 4:将来需要発掘のための贈与型技術移転

分科会	番号	科学技術課題
2	29	食品の大半をカバーする世界的トレーサビリティシステム
2	59	RFID 等のタグ価格が数銭レベルとなり、食料品や日常品へのタグの付与が幅広く実現される

分科会	番号	科学技術課題
2	72	全世界的な経済活動と地域ごとに動いている経済活動(あるいは学校)など広範囲とローカルな両面の要因を持つ人の流動と，それぞれの地域ごとの気温や湿度・風向きなどの環境要因と，感染症の発生など人が持っている生理学的な仕組みとをあわせて感染症の発生と伝搬を予測する技術が使われるようになる
2	73	予測市場やその他の集合知メカニズムが、企業や政府を初めとする社会一般で幅広く活用されるようになり、経済や社会等についての予測、政治や企業経営等の意思決定、感染症やテロ等のさまざまなリスク情報の発見がより適切にかつ効率よく行えるようになる
3	63	生育障害や病虫害の発生、鳥インフルエンザ等感染症による家畜の異常を早期に察知するため、圃場・畜舎・養殖池等の環境情報や生物情報をリアルタイムにモニタリングするセンサネットワーク
4	58	神経変性疾患の予防と治療
6	1	世界標準を獲得し得る次世代軽水炉
6	3	中・小型熱電併給原子炉
6	51	各種センサ、計測器により室内環境や設備の運用状況を監視し、ビル内のエネルギー・環境負荷を管理するシステム(Building Energy management System、BEMS)各種の BEMS が中小規模の建物まで広く普及し、業務部門の自動化された省エネルギーが進む
6	52	宅内通信ネットワークを用いて家電機器、太陽光発電装置、蓄電池等を統合制御し、CO_2 排出を削減する家庭用エネルギーマネジメントシステム(HEMS)
6	54	都市部のヒートアイランド現象を緩和し、都市部でも郊外でも低炭素コミュニティづくりに寄与する、都市部や住宅地域において街区単位で自然・未利用エネルギーを活用し、建物間で電力・熱・水などを融通し、物質循環と一体となったエネルギーシステム(エネルギー・物質の面的利用)
6	55	中小企業でも導入可能な工場全体のエネルギーマネジメントシ ステム(FEMS)
6	61	地域農林業資源・有機性廃棄物などのバイオマスエネルギーを利用する、ゼロエミッションを指向した低コスト農林業・農村の実現
6	65	150℃を越える蒸気生成が可能な産業用ヒートポンプ
6	66	民生用超高効率ヒートポンプ(空調・給湯・冷凍機用等、排熱回収も含む)
6	68	次世代高効率照明技術(LED/LD/ELの高効率化，革新的面発光体を含む)
6	69	自然エネルギー、自然通風、自然採光、及び雨水・地下水等の利用を可能とするエネルギー自立型建築技術
7	12	砂漠(乾燥地帯)における高効率な植生再生技術
7	21	有害微量化学物質やノロウィルスなどのモニタリングや新しい除去技術の発展による安全で安心な上水供給システム
7	22	水質管理、栄養塩循環および衛生保持を可能とする分散型生態学的下水処理技術
7	23	逆浸透膜などによる経済的・実用的な海水淡水化、汚染水浄化再利用技術を活用した地域調和型水循環利用システム
7	24	水保有量の地域偏在化を解消するための高効率な水輸送システム
7	30	新興国でも受入れ可能な廃ガスからの経済的な NOx、SOx 除去技術
8	6	購入商品や調達原材料に付随する環境リスク情報を物流とともに川下へ伝達する技術が各産業分野で確立する
8	26	生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展によって伝染病や災害の予測が可能となる
8	42	途上国の未発達な排水処理等から発生する大量のメタンガスを効率的に回収し利活用する技術が開発される
8	43	途上国において安易に焼却処理されているバイオマス廃棄物を有効に利活用する技術が開発される
8	45	砂漠・半乾燥地帯における高効率な土地利用技術が普及し、相応の食糧生産が確保されて住民の生活の質が向上する
8	61	日本が技術的優位性を持つ、膜などの素材や水システム技術を足がかりに、オールジャパン体制で戦略的に開発を進め、拡大する世界の水ビジネスに進出、21 世紀の世界的課題の一つである水の分野で 30%のシェアを占め、課題解決に大きく貢献する
8	62	世界中の人々が、安心して飲める水に容易にアクセスできるような経済合理的なインフラ技術や分散型システムが実現・普及する
8	64	国内外の土壌・地下水汚染問題を飛躍的に改善する効率的で経済的な除去・無害化技術が開発される
8	66	化学物質の除去・無害化技術が進み、わが国からは土壌地下水汚染地域がなくなり、技術移転で途上国の土壌地下水汚染も著しく改善される
9	12	圧電率が PZT(Pb(Zr,Ti)O3)なみの鉛フリー強誘電体

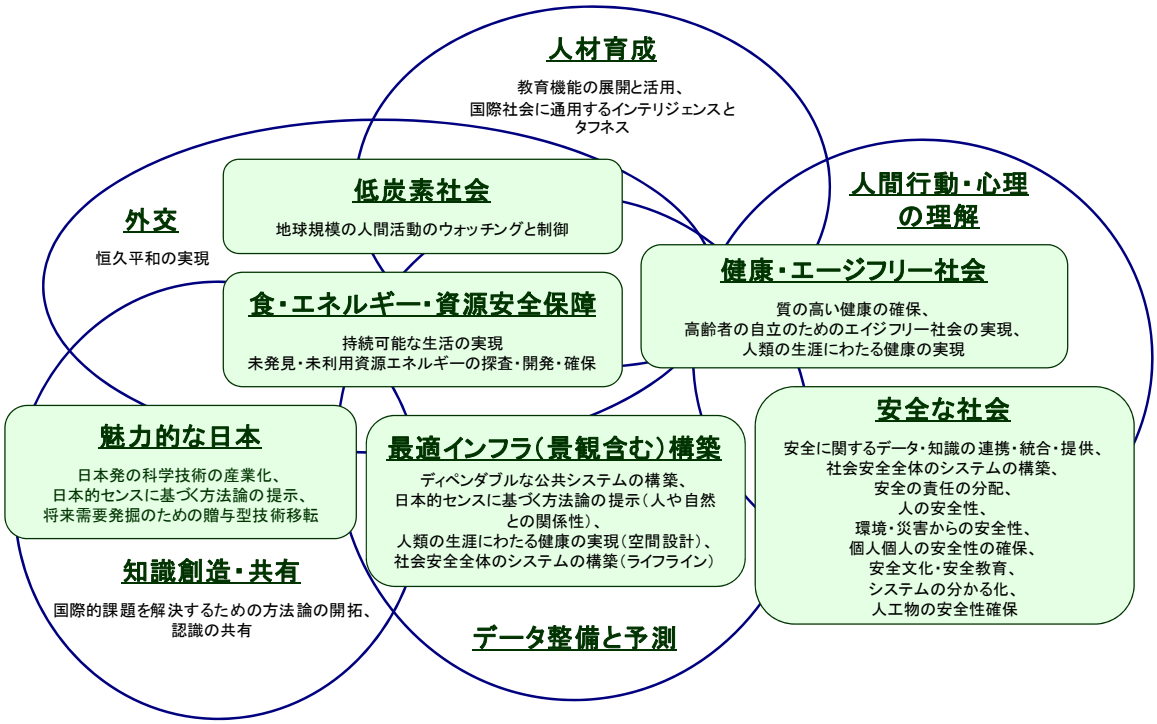
分科会	番号	科学技術課題
9	24	変換効率10%以上の熱電発電モジュール
9	28	低コストで変換効率 20%以上の大面積薄膜太陽電池
9	33	環境に CO_2 を排出せずに石炭から水素を製造する材料技術
9	50	蛍光灯に代わる照明用の有機高分子面発光体
9	51	ナノポアによる原子・分子の高効率分離膜
9	52	環境調整機能を持った内外装材料
9	75	ウイルス等の院内感染連続モニターシステムのためのセンシング素子・材料の実用化
9	76	食品や環境の安全をその場で確認できる超小型化学分析システム
9	77	家畜の異常を早期に察知するため、圃場・畜舎・養殖池等の環境情報や生物情報を高感度かつリアルタイムにモニタリングするセンサネットワークの実用化
10	3	製造された工業製品の部品ひとつひとつにその履歴（製造者、材料、部品、性能・特性変化、使用者等）を識別できるICチップを埋め込んだ、工業製品の障害追跡システム
10	39	先進国に準じる水準の市場を含む世界規模の巨大市場の存在や発展途上国で求められる超低価格製品の創出など，日本市場の特性からは根本的に異なる製品を国内の設計生産拠点と国外(現地)での拠点との協調的な連携のもとでつくり出していくための考え方や方法論：藤田（喜）
11	14	需要予測の精度と生産・物流の応答速度が上がり，過剰在庫や欠品による機会損失がほぼなくなる
11	18	製造された工業製品の部品ひとつひとつにその履歴(製造者、材料、部品、性能・特性変化、使用者等)を識別できるICチップを埋め込んだ、工業製品の生涯追跡システム
11	48	通貨価値の変動や、エネルギーをはじめとする国際商品価格の変動によって生じるマーケット・リスクを軽減するために、我が国の主要企業(上場企業の 3 割以上)は、このリスクをもたらす要因（リスク・ファクター）を事前に特定し、リスク量を日次ベースで計測して、管理（コントロール）するようになる
11	54	ものづくり、製造技術の暗黙知（基本技術・技能、ノウハウ、経験など）を形式知化する技術が確立され、技術の伝承が着実におこなえるようになる
11	57	映像デジタル化、バーチャルリアリティ技術を活用した伝統芸能などの無形文化財、パフォーマンスの保存・保護および技術伝承に関わる技術が確立される
12	27	少子高齢化の進展に伴う用水組合、水土里ネットの限界に対応した農地、水利水系保全再生システム
12	28	市民的運動の加速化に伴うSATOYAMAイニシアチブ等の世界各国の伝統的自然共生精神の再評価技術
12	41	インターモーダル輸送において、物資や商品の温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、輸送や保管の履歴を、記録・検査・照合すことにより、資源の効率的なリサイクルも含めて、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレーサビリティ技術が実用化される
12	52	コミュニティ単位で自然・未利用エネルギーを活用し、物質循環サイクルを形成する技術

第5章　おわりに

第 4 期科学技術基本計画の議論に向けて、基礎研究や分野重点研究といった従来の枠組みに加え、新たな論点になると想定される「目指すべき日本の姿に向けて、科学技術政策とイノベーション政策を一体的に推進する」という方向性の検討に資することを目的として、科学技術のミッション（重要領域）とそれらに関わる科学技術（科学技術課題）の検討を行った。その結果、留意すべきと考えられるいくつかの事項が浮かび上がった。

１．科学技術が貢献できる将来目標

本検討で抽出された重要領域を俯瞰したところ、「低炭素社会」、「食・エネルギー・資源安全保障」、「最適インフラ（景観含む）構築」、「魅力的な日本」、「健康・エージフリー社会」、「安全な社会」の 6 項目が共通項目として見出された。併せて、これらの項目に重複して関わる基盤的項目として、「（国際社会で通用する）人材育成」「外交」「知識創造・共有」「データ整備と予測」「人間行動・心理の理解」が抽出された。



2. イノベーションが起きる可能性のある新領域

抽出された重要領域と科学技術課題を関連付けたところ、約半数の科学技術課題は将来社会の重要領域に関連しているとみなすことができた。1つの課題が複数の重要領域に関連しているケースもあり、一方、いくつかの重要領域は複数の科学技術課題を含有している。将来社会で種々の観点からみて必要性の高い科学技術は重要視されるべきものであろう。また、同じ領域に含まれる科学技術課題群は、将

来社会に対して類似の目標を設定しうる。つまり、これらについては、既存分野の概念を越えて、一つの大きな目標を目指していく新しい枠組みを考えうる。

将来社会のイメージを明確に意識した上で新たな視点で検討を行うことにより、既存の概念を超えた科学技術領域が生まれ、大きなイノベーションが起きる可能性がある。詳細に分析すると、科学技術の各分科会によって関連の粗密が見られ、推進方策のタイプを 4 種類に分けることができた。

将来社会との関わりについて、

○ 十分にイメージされている分野 → 「社会の基盤技術」となるように推進。
○ 部分的にはイメージされている分野 →社会との関わりを広く考慮し、分野融合などにより推進。
○ イメージが希薄な分野 → 社会をより意識し、明確な目標を持って推進。
○ イメージがほとんどない分野 → 意識改革により将来および世界に対する意識を高めて推進。

3. 社会に適合したシステムとしての科学技術

本調査研究の総合的検討により、特に第 4 期基本計画へ向けた議論として、今後は従来の議論に加えて、科学技術が「社会に適合したシステム」として社会に取り込まれていく道筋が重要と考えられる。今後、議論を進めるべき要点として、以下が挙げられる。

○ 関連する科学技術の研究開発を系統立てて行うことの意義

システムは無論のこと、製品であってもそれが普及段階に達するまでには、様々な分野の科学技術が関わる。目的に照らして様々な可能性を探索し、ボトルネックをつくらないよう研究開発を進める必要がある。対象となる科学技術が主として属してきた既存分野に留まらず、全体を俯瞰し系統立てた推進策が求められる。前述のような、同一の目標に向かう新たな科学技術課題群がヒントになるとともに、その道筋が明確にされるべきであろう。

○ 関連する複数の科学技術を一つのシステムとして捉えることの重要性

社会に貢献する科学技術は、最先端の科学技術ばかりではなく、既存の科学技術やサービスの高度化・効率化も重要である。これらを含めて、関連する多岐に亘る科学技術を一つのシステムとして捉え、その最適化を目指す視点が必要である。

○ 社会への適用方策に関する研究の必要性

科学技術が社会で使われるようになるには、モデリング、シミュレーション、社会適用のメリット・デメリットに関する事前評価などのツール開発が必要である。また、基礎研究に続く社会適用に向けた応用的な研究開発が不可欠である。しかし、学問的な先進性があまり感じられない課題については、自由な研究活動からは解決手段が生まれにくく、研究機関も力を入れて取り組みにくい。このような場合には、社会適用のための研究の重要性を掲げ、その意義を強調する必要がある。

○ 社会システムを含めた科学技術の俯瞰性

現代社会においては、すでに科学技術進展に社会のシステムが追いつかず、ミスマッチが生じていると考えられる。新たな科学技術が将来社会に取り込まれるには、科学技術が備えるべきこと、社会が備えるべきことを検討し、社会に適合した科学技術、導入される科学技術に適合した社会システムとならねばならない。すなわち、社会システムのなかで科学技術がどのように存在感を示していくかを考えていくことが、今後の政策議論の方向性として求められる。

分科会名簿

（2009 年 3 月現在）

目標別分科会

＜安心＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	小菅 一弘	東北大学大学院工学研究科 教授
	川渕 孝一	東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科 教授
	杉本 有司	エヌアールイーハピネス株式会社 常務取締役・ソリューション事業本部長
	並木 幸久	株式会社国際総合知財ホールディングス 代表取締役、 フィールファイン株式会社 フェロー
	林 紘一郎	情報セキュリティ大学院大学 副学長
	前田 正子	財団法人横浜市国際交流協会 理事長

＜安全＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	原島 文雄	東京電機大学未来科学部 教授
	片田 敏孝	群馬大学大学院工学研究科 教授
	岸　　徹	元 科学警察研究所副所長
	小林 敏雄	財団法人日本自動車研究所 所長
	松原 美之	総務省消防庁消防大学校消防研究センター 研究統括官
	山本 修一郎	株式会社 NTT データ システム科学研究所 所長
	吉見 憲一	株式会社間組 取締役常務執行役員、技術・環境本部長防災担当

＜協調＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	井上 憲太	東北大学 客員教授
	浅野 直人	福岡大学法学部 教授
	今村　努	独立行政法人海洋研究開発機構 理事
	植田 和弘	京都大学大学院経済学研究科 教授
	押谷　仁	東北大学大学院医学系研究科 教授
	藤田 和男	芝浦工業大学大学院工学マネジメント研究科 教授

＜競争＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	竹内 佐和子	京都大学大学院工学研究科 客員教授
	小浜 直人	オリンパス・キャピタル・ホールディングス・アジア 在日代表
	菅　裕明	東京大学先端科学技術研究センター 教授
	妹尾 堅一郎	東京大学 特任教授、特定非営利活動法人産学連携推進機構 理事長
	中台 慎二	日本電気株式会社中央研究所 主任
	松原　仁	公立はこだて未来大学システム情報科学部 教授

科学技術系ナンバー分科会

＜No.1＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	荒川 泰彦	東京大学 ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構 機構長
		同先端科学技術研究センター 教授
	岩田 誠	高知工科大学工学部 教授
	尾内 享裕	株式会社日立製作所研究開発本部 研究開発統括センター長
	加藤 喜昭	アイシン精機株式会社 常務役員
	白鳥 則郎	東北大学電気通信研究所 教授
	曽根 純一	日本電気株式会社中央研究所 支配人
	高柳 英明	東京理科大学 理事(研究担当)
		総合研究機構 教授(理学部第一部応用物理学科兼担)
	土井 美和子	株式会社東芝研究開発センター 首席技監
	中村 宏	東京大学大学院情報理工学系研究科・先端科学技術研究センター准教授
	日比野 靖	北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科 教授
	平本 俊郎	東京大学生産技術研究所 教授
	藤田 博之	東京大学生産技術研究所 教授
	松本 充司	早稲田大学大学院国際情報通信研究科 教授
	三浦 道子	広島大学大学院先端物質科学研究科 教授

＜No.2＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	齊藤 忠夫	株式会社トヨタ IT 開発センター CTO・チーフサイエンティスト
	池田 佳和	大谷大学文学部 教授
	榎並 和雅	独立行政法人情報通信研究機構 けいはんな研究所長
	加藤 俊一	中央大学理工学部 教授
	加藤 洋一	日本電信電話株式会社サイバーソリューション研究所
		ヒューマンインタラクションプロジェクト プロジェクトマネージャー
	高野 明彦	国立情報学研究所 連想情報学研究開発センター長・教授
	所 眞理雄	株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所 代表取締役社長
	西田 豊明	京都大学大学院情報学研究科 教授
	平山 雅之	株式会社東芝ソフトウェア技術センター 参事
	山口 浩	駒沢大学グローバル・メディア・スタディーズ学部 准教授
	吉川 厚	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 連携教授

＜No.3＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	小此木 研二	大阪大学産学連携推進本部 産学連携教授
	穴澤 秀治	財団法人バイオインダストリー協会 事業企画部長
	阿部 啓子	東京大学大学院農学生命科学研究科 教授
	長田 義仁	独立行政法人理化学研究所 基幹研究所 副所長
	加藤 元一郎	慶応義塾大学 医学部 准教授

	五條堀 孝	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立遺伝学研究所 副所長・教授
	橋田　充	京都大学大学院薬学研究科 教授
	古市 喜義	アステラス製薬株式会社研究本部 常勤顧問
	前多 敬一郎	名古屋大学大学院生命農学研究科 教授
	森下 竜一	大阪大学大学院医学系研究科 教授、AnGes MG, Inc. 取締役

＜No.4＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	田中　博	東京医科歯科大学 情報医科学センター長・教授
	伊関　洋	東京女子医科大学先端生命医学研究所 教授
	今井　裕	東海大学医学部 教授
	小山 博史	東京大学大学院医学系研究科 教授
	加藤 規弘	国立国際医療センター研究所 遺伝子診断治療開発研究部長
	木村 彰男	慶応義塾大学月ヶ瀬リハビリテーションセンター 所長
	坪井 俊明	NTT アイティ株式会社ヘルスケア事業部SE・開発部 担当部長
	橋爪　誠	九州大学大学院医学研究院 教授
	松浦 弘幸	国立長寿医療センター研究所 長寿医療工学研究部長
	棟近 雅彦	早稲田大学創造理工学部 教授
	山口 直人	東京女子医科大学大学院医学研究科 主任教授

＜No.5＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	的川 泰宣	独立行政法人宇宙航空研究開発機構 技術参与・名誉教授
	浦　環	東京大学生産技術研究所 海中工学研究センター長・教授
	木下　肇	元 独立行政法人海洋研究開発機構理事
	小久保 英一郎	国立天文台理論研究部 准教授
	小澤 秀司	独立行政法人宇宙航空研究開発機構 理事
	末廣　潔	独立行政法人海洋研究開発機構 理事
	高崎 史彦	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 理事
	続橋　聡	社団法人日本経済団体連合会 産業第二本部長
	中島 映至	東京大学 気候システム研究センター長・教授
	不破　健	独立行政法人海上技術安全研究所 理事
	松永 三郎	東京工業大学大学院理工学研究科 准教授
	山本 哲生	北海道大学低温科学研究所 教授

＜No.6＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	柏木 孝夫	東京工業大学統合研究院ソリューション研究機構 教授
	浅野 浩志	財団法人電力中央研究所社会経済研究所 上席研究員
	飯山 明裕	日産自動車株式会社総合研究所 燃料電池研究所長
	今井 哲也	三菱重工業株式会社技術本部 技師長
	工藤 博之	財団法人省エネルギーセンター 技術部長

	坂西 欣也	独立行政法人産業技術総合研究所 バイオマス研究センター長
	佐々木 一成	九州大学工学研究院教授、 同水素利用技術研究センター長
	中川 泰仁	シャープ株式会社 先端エネルギー技術研究所長
	武藤 昭一	東京電力株式会社 開発計画部長
	山下 英俊	独立行政法人日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター 技術開発部長
	吉田 正寛	新日本石油株式会社 執行役員・研究開発企画部長
	吉野 博	東北大学大学院工学研究科 教授
	渡辺 尚生	東京ガス株式会社技術開発本部 技術戦略部長

＜No.7＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	持田 勲	九州大学産学連携センター 特任教授
	井口 恵一朗	独立行政法人水産総合研究センター 生態系保全研究室
	石原 紀夫	財団法人石炭エネルギーセンター 資源開発部長
	小木 知子	独立行政法人産業技術総合研究所バイオマス研究センター 主任研究員
	加藤 秀和	DOWA エコシステム株式会社 環境ソリューション室長
	小池 俊雄	東京大学大学院工学系研究科 教授
	佐藤 光三	東京大学大学院工学系研究科 教授
	柴田 明夫	丸紅株式会社 経済研究所長
	谷口 一徳	出光興産株式会 石炭・環境研究所長
	長野 研一	新日本製鐵株式会社本社原料科第一部 審議役
	藤井 光	九州大学工学研究院 准教授
	森 直道	株式会社日立プラントテクノロジー環境システム事業本部事業企画本部 技術企画部 部長

＜No.8＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	野尻 幸宏	独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター 副センター長
	一ノ瀬 俊明	独立行政法人国立環境研究所環境経済政策研究室 主任研究員
	亀屋 隆志	横浜国立大学大学院環境情報研究院 准教授
	河口 真理子	株式会社大和総研経営戦略研究所経営戦略研究部 主任研究員
	栗山 浩一	早稲田大学政治経済学術院 教授
	香坂 玲	名古屋市立大学大学院経済学研究科 准教授
	田中 章	武蔵工業大学環境情報学部環境情報学科 准教授
	田中 宏明	京都大学大学院工学研究科・流域圏総合環境質研究センター 教授
	中村 弘志	株式会社荏原製作所技術・研究開発統括部 技術企画室長・副センター長
	松田 裕之	横浜国立大学大学院環境情報研究院 教授
	溝口 勝	東京大学大学院情報学環・学際情報学府 教授

＜No.9＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	岸本 直樹	独立行政法人物質・材料研究機構 量子ビームセンター長
	池澤 直樹	株式会社野村総合研究所 コンサルティング事業本部 チーフ・インダストリー・スペシャリスト
	伊藤 義康	株式会社東芝電力システム社 首席技監
	金山 敏彦	独立行政法人産業技術総合研究所 ナノ電子デバイス研究センター長
	北野 彰彦	東レ株式会社 リサーチフェロー・複合材料研究所長
	後藤 孝	東北大学金属材料研究所 教授
	澤本 光男	京都大学大学院工学研究科 教授
	鈴木 淳史	横浜国立大学大学院環境情報研究院 教授
	田中 功	京都大学大学院工学研究科 教授
	田 旺帝	国際基督教大学 准教授
	山岡 哲二	国立循環器病センター研究所先進医工学センター 生体工学部長

＜No.10＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	北森 武彦	東京大学工学系研究科 副研究科長・教授
	大平 竜也	三菱重工業株式会社先進技術研究センターインテリジェンスグループ 主席研究員
	田所 諭	国際レスキューシステム研究機構 会長 東北大学 大学院情報科学研究科 教授
	中馬 宏之	一橋大学イノベーション研究センター 教授
	豊田 政男	独立行政法人科学技術振興機構 科学技術振興調整費プログラム主管 (科学技術振興調整費業務室)、大阪大学名誉教授
	長谷部 伸治	京都大学大学院工学研究科 教授
	藤田 喜久雄	大阪大学大学院工学研究科 教授
	藤田 雅博	ソニー株式会社 システム技術研究所長・主幹研究員
	古田 一吉	セイコーインスツル株式会社 部長
	松木 則夫	独立行政法人産業技術総合研究所 デジタルものづくり研究センター長
	三宅 亮	広島大学 ナノデバイス・バイオ融合科学研究所 教授
	柳本 潤	東京大学生産技術研究所 教授

＜No.11＞

(ﾘｰﾀﾞｰ)	増田 靖	慶應義塾大学理工学部 教授
	井川 康夫	北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科 教授
	大上 慎吾	一橋大学大学院国際企業戦略研究科 准教授
	大澤 幸生	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 准教授
	金光 淳	京都産業大学経営学部 准教授
	高安 美佐子	東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授
	田中 義敏	東京工業大学大学院イノベーションマネジメント研究科 准教授
	遠山 亮子	中央大学大学院戦略経営研究科 教授

濱岡　豊　　慶應義塾大学商学部 教授
山ノ井 利美　　日産自動車株式会社総合研究所 社会・フロンティア研究所長

＜No.12＞
(ﾘｰﾀﾞｰ) 林　良嗣　　名古屋大学大学院 環境学研究科長・教授
伊香賀 俊治　　慶応義塾大学理工学部 教授
市川 雅也　　三菱重工業株式会社航空宇宙事業本部 技監・技師長
臼田 裕一郎　　独立行政法人防災科学技術研究所 リスク情報研究チームリーダー
苦瀬 博仁　　東京海洋大学海洋工学部 教授
児玉 良明　　独立行政法人海上技術安全研究所 流体部門長
進士 五十八　　東京農業大学地域環境科学部 教授
髙橋 儀平　　東洋大学ライフデザイン学部 教授
舘石 和雄　　名古屋大学エコトピア科学研究所 教授
戸河里 敏　　鹿島建設株式会社鹿島技術研究所 執行役員・所長
藤井　聡　　東京工業大学大学院理工学研究科 教授

調査担当

（2009 年 3 月現在）

文部科学省科学技術政策研究所

奥和田 久美	科学技術動向研究センター長
市口 恒雄	科学技術動向研究センター客員研究官
伊藤 裕子	科学技術動向研究センター主任研究官
浦島 邦子	科学技術動向研究センター上席研究官
岡田 義明	科学技術動向研究センター特別研究員
重茂 浩美	科学技術動向研究センター上席研究官
加藤 寛治	科学技術動向研究センター上席研究官
金間 大介	科学技術動向研究センター研究員
河本 洋	科学技術動向研究センター特別研究員
清水 貴史	科学技術動向研究センター特別研究員
白石 栄一	科学技術動向研究センター上席研究官
白川 展之	科学技術動向研究センター上席研究官
関根 進	科学技術動向研究センター特別研究員
武井 義久	科学技術動向研究センター特別研究員
戸澗 敏孔	科学技術動向研究センター特別研究員
野村 稔	科学技術動向研究センター客員研究官
藤本 博也	科学技術動向研究センター特別研究員
横尾 淑子	科学技術動向研究センター上席研究官
吉永 孝司	科学技術動向研究センター特別研究員
後藤 麻里	科学技術動向研究センター事務補助員

財団法人未来工学研究所

菊田 隆	主席研究員
片瀬 和子	主席研究員
上野 元治	主席研究員
本間 純一	主席研究員
森 康子	主任研究員
笠井 祥	主任研究員
平澤 雅彦	主任研究員
依田 達郎	主任研究員
光盛 史郎	主任研究員
米川 聡	主任研究員
大竹 裕之	研究員
和田 佳子	副研究員

第 3 期科学技術基本計画のフォローアップに係る調査研究

第 4 期基本計画で重視すべき新たな科学技術に関する検討

報 告 書

2009 年 3 月

文部科学省　科学技術政策研究所

〒100-0013
東京都千代田区霞ヶ関 3-2-2 中央合同庁舎第 7 号館 東館 16 階
TEL：03-3581-0605　FAX：03-3503-3996　E-mail：stfc@nistep.go.jp